Beiträge zu Untersuchungen über die Knochenstärke der Pferde.

Inaugural-Dissertation,

welche

nebst den beigefügten Thesen

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

mit Genehmigung der hohen

philosophischen Fakultät der Kgl. Universität Breslau

Mittwoch, den 8. April 1908, Mittags 12 Uhr

in der Aula Leopoldina

öffentlich verteidigen wird

ACAD LUGD. BAT. BIBL.

Kasimir Nowakowski

aus Posen.

Opponenten:

Herr Drd. phil. **Johannes Janning,**

Herr cand. phil. **Joseph von Zabłocki.**

Breslau

Buchdruckerei H. Fleischmann

1908.

Gedruckt mit Genehmigung der hohen philosophischen Fakultät der Königl. Universität Breslau.

Referent: Herr Prof. Dr. **Fr. Holdefleiss.**

Das mündliche Examen hat stattgefunden am 10. und 11. März 1908.

Meinen Eltern

in Liebe und Dankbarkeit

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545318_0083

Es sei mir gestattet, an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer

Herrn Professor Dr. Friedrich Holdefleiss

für die Anregung zu der vorliegenden Arbeit, für sein Interesse daran, sowie für sein stetes Wohlwollen während meiner ganzen Studienzeit verbindlichst zu danken.

Die Leistung des Pferdes besteht vorzugsweise in der Verrichtung einer Arbeit, der Ortsbewegung. Diese fällt als mechanische Funktion (im physikalischen Sinne) hauptsächlich dem Knochengerüst zu; daher kommt es beim Pferde besonders auf die Stabilität des Skeletts an. Bei dem Bestreben, diese zu prüfen, muss man solche Teile berücksichtigen, die infolge ihrer Lage und Stellung am meisten in Anspruch genommen werden und für die Ortsbewegung in erster Linie in Betracht kommen. Das sind die Gliedmassen. Diese sind daher für das Pferd das allerwichtigste. „No foot, no horse" sagt der Engländer, und zwar mit vollem Recht. Ihre Bedeutung können wir ermessen, sobald wir uns vergegenwärtigen, dass sie dem Pferde im Naturzustand, wenn auch nicht geradezu als Waffen, so doch als Mittel dienten, um einem Angriffe durch schnelle Flucht zu entgehen. Daraufhin ist der ganze Körperbau des Pferdes eingerichtet, so dass es als Prototyp der Schnelläufigkeit hingestellt werden darf. Diese Fähigkeit ist es eben, die sich der Mensch nutzbar gemacht, derentwegen er das Pferd als Haustier hält und schätzt. Ausserdem dienen die Beine dem Pferde im Stande der Ruhe als stützende Säulen; auch tritt an ihnen die mehr oder minder starke Ausbildung der übrigen Knochen zu Tage.

In dieser Erkenntnis schenkt man den Extremitäten seit längerer Zeit in landwirtschaftlichen Kreisen erhöhte Aufmerksamkeit.

Soll man den Wert eines Pferdes beurteilen, so wirft man den ersten Blick auf die Beine, befühlt und betastet

sie, um sich zu überzeugen, ob den Knochen, die als Hebel den Mechanismus der Bewegung übernehmen, keine Abnormitäten anhaften, durch welche die Leistung beeinträchtigt werden könnte. Auch sucht man durch Messung ihre Stärke festzustellen, weil man daraus ein Urteil über ihre Widerstandsfähigkeit zu gewinnen glaubt. Je widerstandsfähiger der Knochen, desto kräftiger die Gliedmassen, desto leichter, energischer und ausdauernder die Bewegung.

Am besten eignet sich für diese Messungen das Schienbein als der von Natur schwächste Teil, und weil die Knochen desselben zusammen mit den Sehnen nur von Unterhautbindegewebe und von der Haut umkleidet, am lebenden Tier für die Bestimmung ihrer Stärke einen ziemlich sicheren Anhalt bieten. Das Mass des Röhrbeinumfanges bezeichnet man mit „Knochenstärke."

Dieser Ausdruck in seinem engeren Sinne ist erst in den letzten Dezennien aufgekommen — bei Günther[1]) bezieht er sich auf alle Knochen; — jedoch ist er nicht prägnant genug, da er in Wirklichkeit den Umfang des Beines, den des Knochens dagegen nur mittelbar angibt; präciser sollte er „Röhrbeinstärke" lauten.

Zwischen den verschiedenen Pferderassen und innerhalb derselben bei den einzelnen Individuen finden sich Unterschiede in der Knochenstärke. Ob die kleinere oder die grössere den Vorzug verdient, darüber gehen die Ansichten der Praktiker auseinander.

In der letzten Zeit bringt man diesem Gegenstande auch wissenschaftliches Interesse entgegen und sucht die Frage auf diesem Wege zu beantworten. Besonders wären in dieser Hinsicht Prof. Dr. Kraemer-Bern[2]) und Dr. A. Wolter[3]) zu nennen.

---

[1]) Beurteilungslehre des Pferdes Hannover 1859.
[2]) Deutsche Landwirtschaftliche Tierzucht 1905 u. 06.
[3]) Landwirtschaftliche Jahrbücher 1907 Band 36, Heft 3.

Die vorliegende Arbeit bezweckt, einige Beiträge zu diesen Untersuchungen zu liefern und zur Entscheidung der strittigen Meinung zu verhelfen.

Es würde zu weit führen, auf die Aeusserungen der einzelnen Autoren über die Knochenstärke näher einzugehen, wobei langweilige Wiederholungen unvermeidlich wären. Es lassen sich nämlich zwei Richtungen in den Auseinandersetzungen verfolgen. Die eine glaubt, die mächtigere Stärke der geringeren vorziehen zu müssen, die andere hält einen kleineren Umfang für vorteilhafter. Zur ersteren gehören wohl auch diejenigen, welche behaupten, dass ein breites abgeflachtes Schienbein den Vorzug vor einem rundlichen verdiene.

Als typische Träger der Gegensätze werden das Kalt- und Warmblut einander gegenübergestellt. Jede Partei sucht ihre Behauptungen scheinbar in plausibler Weise aufrecht zu erhalten. Diejenigen, welche einem grösseren Umfange das Wort reden, begründen dies damit, dass erfahrungsgemäss eine stärkere Säule grössere Lasten zu tragen vermöge, als eine schwächere. Ebenfalls gestatte ein platter Körper eine zweckmässigere Anlagerung von Sehnen als ein runder.

Dagegen wissen ihre Gegner anzuführen, dass mit dem äusseren Umfang der Knochen auch das innere Lumen zunehme, sodass die Warmblüter das durch dickere Wandung ersetzen, was ihnen an Umfang verloren gehe. Ausserdem soll ihre Knochenstruktur fester sein als die schwammige und mulsche der Kaltblüter. Deshalb bedürfe das Warmblut auch nicht so starker Sehnen wie das Kaltblut. Adam[1]) meint, dass die Sehnen der unedlen Pferde, obwohl stärker, doch nicht widerstandsfähiger wären, als bei edlen Pferden; im Gegenteil zeigten gerade die harten Sehnen des edlen Pferdes auch bei

[1]) Vorträge über Pferdekunde Stuttgart 1882.

relativ geringer Stärke grosse Dauerhaftigkeit. Diesen Zwiespalt drückt passend Lefour[1]) in folgenden Worten aus: „La grosseur de l'os du canon, indiquée par quelques amateurs comme utile, est moins appreciée par d'autres qui font observer que la force de l'os est plus dans la densité que dans sa grosseur. Cependant des tendons puissants et bien détachés concourent à élagir le canon, et on doit les admettre comme une beauté.“ Die Unklarheit in der Beurteilung des Röhrbeinmasses veranlasst Pott (Formalismus in der landwirtschaftlichen Tierzucht) zu dem Schlusse, dass man mit diesem Masse nicht viel anzufangen vermöge, zumal es am lebenden Tiere überhaupt nicht richtig genommen werden kann, weil die Haut verschieden straff auf dem Knochen aufliege und verschiedene Dicke habe. Ausserdem werde die Genauigkeit der Messung durch den Haarbehang und die Sehnen verschieden beeinflusst.

Dass eine diametral entgegengesetzte Bewertung der Knochenstärke herrschen kann, beruht darauf, dass in dieser Hinsicht keine praktisch oder wissenschaftlich begründeten Tatsachen, sondern nur subjektive Meinungen vorliegen. Die Ursache letzterer findet sich zum Teil in dem Geschmacks- und Schönheitssinn der Interessenten, nach welchem sich aus geschäftlichen Rücksichten die Produzenten richten, zum Teil in etwas einseitiger Auffassung anstatt auf Grund wissenschaftlicher Forschung.

Es ist zwar anerkennenswert und als grosser Fortschritt zu bezeichnen, dass die Tierzucht sich zur Züchtungskunst emporgeschwungen hat, vermöge deren man bald dieser bald jener Richtung folgen kann, aber man darf nicht die Kunst zum Nachteil der Zucht missbrauchen. Und das tut man, wenn man in der Zucht nur dem Geschmack nachgeht. Dieser, wie auch der Begriff der Schönheit ändern sich und sind nicht immer mit Zweck-

[1]) Manuel du Cultivateur.

mässigkeit verbunden, auf der allein die Leistungsfähigkeit des Tieres beruht.

Die Meinungsverschiedenheit über die Knochenstärke bietet Anhaltspunkte für unsere Untersuchungen. Dieselben erstrecken sich lediglich auf das vordere, von Haut und Sehnen freigelegte Röhrbein (Metacarpus).

Wir wollen uns daher mit diesem näher bekannt machen.

Das Röhrbein als Knochen besteht hauptsächlich aus Knochengewebe. Es nimmt, wie schon der Name sagt, die Gestalt eines mehr oder weniger elliptischen Hohlzylinders an. Es ist nicht in allen Punkten des Gebildes von derselben Dichtigkeit und Härte. Hauptsächlich tritt es in zwei Modifikationen, entweder in der Form einer festen, dichten (Compacta) oder einer lockeren, schwammigen (Spongiosa) Masse auf. Während die Compacta in der Regel die Oberfläche des Knochens bildet, kleidet die Spongiosa das Innere desselben aus und überwiegt an den Enden.

Die Lichtung des Zylinders wird von einer weichen, rötlichgelben, fettreichen Masse, dem Knochenmark, ausgefüllt. Dieses erhält eine ziemlich grosse Blutzufuhr von Arterien, die durch die sogenannten Ernährungslöcher (foramina nutrientia) von aussen einmünden und in feinen Verästelungen mit den Blutgefässen, welche die Knochenwand durchdringen, anastomosieren. Diesen Gefässverzweigungen bietet es festen Schutz und Halt gegen die bei der Bewegung verursachten Erschütterungen.

Ferner spielt das Knochenmark eine bedeutende Rolle als Bildungsstätte der roten Blutkörperchen [1]).

Die schwammige Substanz der Knochenenden enthält statt Mark ein rötliches, gelatinöses Fluidum [2]), welches nur äusserst geringe Spuren von Fett aufweist.

---

[1]) Naumann, Zeitschrift für klinische Medizin, Pizzozero, Virchow's Archiv für patologische Anatomie und Physiologie 1884.

[2]) Hyrtl, Anatomie.

Aussen wird das Schienbein, mit Ausnahme der Anheftungsstellen für die Sehnen und der überknorpelten Gelenkenden von einer ziemlich derben und fest anliegenden Haut, der Beinhaut, Knochenhaut oder dem Periost überzogen.

Wenn wir einen Querschnitt senkrecht zur Längsachse aus einem frischen Knochen mit Knochenhaut unter dem Mikroskop betrachten, so können wir an dem Periost zwei Schichten unterscheiden. Die äussere besteht hauptsächlich aus Bindegewebe und enthält Nerven und Blutgefässe; letztere durchdringen in zahllosen Kapillaren die innere Schicht, ein dichtes Netzwerk elastischer Fasern.

Verfolgen wir die Blutgefässe weiter, so führen sie uns in die Knochensubstanz. Hier werden sie von feinen Kanälchen aufgenommen. Letztere bilden ein Netz, dessen Hauptäste längs der Achse der Röhre verlaufen und mit feineren Querzweigen unter einander in Verbindung stehen, die an der äusseren und inneren Knochenoberfläche als winzige Oeffnungen sich bemerkbar machen. Diese Gefässkanälchen werden nach dem englischen Anatomen Clopton Havers, der ihrer zuerst erwähnte, „Havers'sche Kanälchen" genannt.

Im Querschnitt zeigt ein solches Kanälchen mehr oder weniger die Form eines Kreises. Ein jeder Kreis ist von zylindrischen, in einander geschachtelten Scheiden oder Lamellen in schwankender Anzahl umschlossen. Die Lamellen sind äusserst dünne Blättchen aus Knochensubstanz und mit einem zwischen ihnen eingelagerten Kitt aneinander befestigt. Ein Lamellensystem um ein Kanälchen heisst Speziallamelle und erscheint bei bestimmter Einstellung des Tubus an der zentralen Seite radiär gestrichen und dunkler als an der peripheren.

Die Speziallamellen sind entweder mit abgeplatteten Rändern an einander gekittet oder durch Schaltlamellen verbunden. Der ganze Lamellenkomplex wird von Grundlamellen eingefasst, die parallel der inneren und äusseren Oberfläche des Knochens laufen.

Zwischen den Lamellen liegen gerstenkornförmige Hohlräume, Knochenkörperchen genannt, die sich der Richtung der Lamellen anschmiegen und zierliche, sich verschmälernde Ausläufer, sogenannte Kalk- oder Primitivkanälchen, aussenden. Diese endigen frei an der inneren bezw. äusseren Knochenoberfläche, münden aber auch in die Havers'schen Kanälchen oder anastomosieren mit einander, so dass von ihnen der ganze Knochen wie von feinen Netzen durchsetzt ist und auf diese Weise den Ernährungssaft aus den Blutgefässen erhält. In trocknen Knochen erscheinen die Knochenkörperchen unter dem Mikroskope bei durchfallendem Licht schwarz, bei auffallendem weiss. Im frischen Knochen enthalten sie eine Zellensubstanz, die Knochenzelle genannt wird. Dieselbe ist der Form des Knochenkörperchens angepasst, füllt aber nicht immer den Raum vollständig aus, sondern ist von Lymphe umgeben und sendet keine Fortsätze in die Primitivkanälchen.

Die Spongiosa besitzt eine ähnliche Struktur wie die Compacta und setzt sich aus verschieden starken Bälkchen und Plättchen zusammen. Während diese im mittleren Teile der Röhre fast ganz verschwinden oder, besser gesagt, sich zur Compacta verdichten, sind sie an den Enden besonders ausgebildet und nach statisch-mechanischen Grundsätzen angeordnet, so dass sie eine Art Strebepfeiler bilden. Ihre Accommodationsfähigkeit ist so gross, dass sie sich in gebrochenen und nicht richtig geheilten Knochen auf die geänderten Druckverhältnisse von neuem einstellen[1]).

Das Vermögen, hohen Druck auszuhalten, verdanken die Knochen ihrer Härte und Festigkeit, verbunden mit einem gewissen Grade von Elastizität. Diese Eigenschaften der Knochen sind die natürliche Folge ihrer Zusammensetzung aus organischen und anorganischen Bestandteilen; ob diese chemisch oder physikalisch mit einander verbunden sind, ist nicht ermittelt.

[1]) Disselhorst, Anatomie u. Physiologie der grossen Haussäugetiere, Berlin 1906.

Behandelt man ein Knochenstück mit verdünnten Säuren, so gehen die anorganischen Bestandteile in Lösung; das übrigbleibende organische Gerüst hat man wegen seiner knorpelähnlichen Beschaffenheit Knochenknorpel, Ossein, genannt. Der Knochenknorpel ist eine biegsame, schneidbare Substanz, die dem Knochen Elastizität verleiht. Der Elastizitätsgrad hängt von dem Verhältnis des Osseins zu den anorganischen Bestandteilen ab; dieses Verhältnis ist je nach Herkunft und Alter der Knochen recht verschieden. Der Knochenknorpel geht beim Kochen in Leim über und unterliegt, wie jede organische Substanz, der Zerstörung durch Verbrennung. Man benutzt diese Tatsache, um aus einem Knochenstück die anorganischen Bestandteile zu erhalten, die zusammen den Namen Knochenerde tragen. Diese ist gegen äussere Einflüsse ausserordentlich widerstandsfähig und teilt diese Eigenschaft dem Knochenknorpel wegen der innigen Kohäsion mit, so dass er, wie Untersuchungen von Knochen bei Ausgrabungen zeigen, Jahrhunderte erhalten bleibt. Die Knochenerde ist eine Mischung von mineralischen Salzen, welche mit Nahrung und Tränke in den Körper gelangen.

Sämtliche frischen, reinen Knochen des Pferdeskeletts, im ursprünglichen wasser- und fetthaltigen Zustande, besitzen im Durchschnitt des ganzen Pferdeskeletts nach Prof. Fr. Holdefleiss[1]) einen Gehalt von:

21,76 % Wasser,
18,56 % Fett
21,60 % stickstoffhaltige organische Substanz mit
3,32 % Stickstoff,
38,08 % Knochenerde mit:
14,55 % Phosphorsäure
2,47 % Kohlensäure
0,10 % Schwefelsäure
0,07 % Chlor
20,41 % Kalk
0,20 % Magnesia.

[1]) Das Knochenmehl, seine Beurteilung u. Verwendung, Berlin 1890.

Das günstigste Verhältnis des Osseins zum Knochenknorpel ist nicht genau bekannt, jedoch ist anzunehmen, dass die Knochen am widerstandsfähigsten sind, wenn sie ungefähr $^2/_3$ ihres Gewichts Knochenerde enthalten, wie dies in ausgewachsenen Knochen gefunden wird, während junge Knochen, in denen die Knochenerde die Hälfte ihres Gewichts ausmacht, zur Biegsamkeit, Greisenknochen mit $^7/_8$ Gewichtsteilen zur Brüchickeit neigen[1]). Diese Verschiebung des Verhältnisses wird durch die allmähliche Abnahme der organischen Substanz verursacht.

Nachdem wir den Bau, die Ernährung und Znsammensetzung der Knocheu erörtert haben, dürfte es von Interesse sein, einen Einblick in ihre Entstehung und ihr Wachstum zu tun, und zwar um so mehr, weil ein scheinbar so starres Gebilde wie der Knochen während des ganzen Lebens Wachstumsvorgänge erkennen lässt.

Man kann wohl beobachten, dass junge Tiere verhältnismässig lange und dicke Extremitäten besitzen, aber sie erreichen doch nicht die Ausdehnung ausgewachsener. Die Röhrenknochen entstehen während der Embryonalzeit durch Verknöcherung oder Ossifikation des hyalinischen Knorpels, der mit Perichondrium, einer fibrösen Haut, überzogen ist. Gewisse Punkte (Puncta ossificationis) in dem den späteren Knochen repräsentierenden Knorpel verfallen zuerst dem Verkalkungsvorgange. An diesen Stellen aber entsteht nicht sofort fester Knochen, sondern zuerst eine zwischen Knorpel und Knochen stehende Substanz. Röhrenknochen besitzen gewöhnlich drei Verknöcherungspunkte, deren einer dem Mittelstücke oder der Diaphyse, die beiden anderen den Endstücken oder den Epiphysen angehören. Die Verknöcherung der Epiphysen tritt später ein als die der Diaphyse. Ist sie so weit vorgeschritten, dass der Knochen seine dauernde Gestalt angenommen hat, so bleibt noch in den ersten

[1]) Disselhorst l. c.

Lebensjahren der Epiphysenfugenknorpel erhalten. In diesem findet eine fortwährende Neubildung von Knochengewebe statt, welches sich an die Enden der Diaphysen ansetzt und dadurch das Längenwachstum der Knochen bewerkstelligt.

Dieser Vorgang setzt sich so lange fort, bis der Knochen völlig ausgereift ist, und endet mit der Verknöcherung des Epiphysenfugenknorpels, so dass Diaphyse und die beiden Epiphysen ein Ganzes bilden. Jedoch würde ein Längenwachstum allein den Knochen nur schwächen ohne ein proportionales Breiten- oder Dickenwachstum. Letzteres ist der Verknöcherung des Knorpels vom Perichondrium aus sehr ähnlich. In der dem Perichondrium analogen Kambiumschicht des Periosts entwickeln sich Zellen, Osteoblasten genannt, die dem schon gebildeten Knochen auflagern und dann verknöchern. Diese Art des Wachstums nennt man Apposition. Da ein fortgesetztes Dickenwachstum die Knochen unnötig schwer machen würde, so wird die Knochensubstanz vom Markraum aus wieder resorbiert.

Diese Tätigkeit wird den sogenannten Fresszellen, Osteoklasten, zugeschrieben, einem osteogenen Gewebe, das aus dem Perichondrium stammt, und beruht darauf, dass der bereits verkalkte Knorpel, seiner Kalksalze beraubt, der Zerstörung anheimfällt. Natürlich darf eine bestimmte Grenze nicht überschritten, und der Hohlraum nicht zu gross werden, eine Erscheinung, die möglicher Weise in hohem Alter der Knochen zutage tritt, wenn das Wachstum infolge des Rückganges in der Ernährung, der Resorption das Gleichgewicht nicht mehr hält, wodurch Knochenbrüchigkeit verursacht werden kann.

Als Skeletteil entspricht das vordere Röhrbein dem Mittelfusse (Metacarpus) der dritten Zehe bei fünfzehigen Tieren und wird fälschlich auch Schienbein genannt. Es besteht aus der Röhre und zwei Griffelbeinen. Die Röhre hat meistens in der Mitte den kleinsten Umfang und zeigt auf einem Querschnitt senkrecht zur Achse am

proximalen Ende ungefähr einen Halbkreis, am distalen ein Rechteck und in der Mitte eine Ellipse, deren dorsale Seite stärker gewölbt ist als die volare. Am distalen Ende läuft die Röhre in eine Gelenkwalze, die durch einen Kamm in eine kleinere äussere und in eine grössere innere Hälfte geteilt wird, am proximalen in eine fast ebene Gelenkfläche aus.

Von vorn gesehen convergieren die Seitenwände des Mittelfusses von den Enden nach der Mitte zu und erreichen oberhalb derselben die kleinste Entfernung; von der Seite gesehen laufen sie einander ziemlich parallel und erscheinen im unteren Drittel des Knochens schwach gekrümmt, mit nach vorn gerichteter Convexität. An der dorsalen und medialen Seite ist die Rinde stärker als auf der volaren und lateralen. Auf einem transversalen Längsschnitt nimmt sie nach der kleinsten Breite beiderseits an Stärke zu; auf einem Sagittaldurchschnitt tritt die Zunahme nur auf der dorsalen Seite auf, während die volare schwächere Wand ziemlich gleichmässig stark bleibt.

Die stärkste Stelle der Compacta findet sich in der proximalen Hälfte des Knochens, einige Centimeter über der Mitte desselben, und fällt in die Gegend der kleinsten Breite. Nach den Enden zu blättert sich die Compacta in die Spongiosa auf, am proximalen Ende plötzlicher aber kürzer und weniger vollkommen als am distalen. In der Gelenkwalze streben die spongiösen Lamellensysteme von einem Punkte aus senkrecht auf die Wände zu. Sie folgen genau der Richtung des Druckes und Zuges, der auf die Gelenkfläche ausgeübt wird, und übertragen die Gewalteinwirkung durch die Compacta in gleichmässiger Verteilung auf die andere Gelenkfläche. Zugleich füllt auf diese Weise die Knochensubstanz ohne Materials- und Gewichtszunahme einen grösseren Raum aus und ermöglicht dadurch die Bildung einer ausgedehnteren Gelenkfläche.

Die Bälkchen und Plättchen der spongiösen Knochensubstanz sind, wie zuerst G. Hermann Meyer[1]) durch Culmann (Mathematiker in Zürich) aufmerksam gemacht, und nach ihm andere Autoren (Julius Wolff, Roux) nachgewiesen haben, in regelmässiger und bestimmter Weise angeordnet, welche mit der Statik und Mechanik im engsten Zusammenhang steht.

An der Bildung der oberen Gelenkfläche beteiligen sich die seitlich und rückwärts angelegten Griffelbeine. Die Gelenkfläche des inneren ist fast eben, fällt lateral von vorn nach unten steil ab, die des äusseren liegt im tieferen Niveau und schrägt sich nach innen ab. Das Mittelstück ist dreikantig, die äussere Seite des lateralen und innere des medialen sind schwach ausgehöhlt, die anderen Seiten beider gewölbt, sodass beide Griffelbeine nach der Medialebene etwas gekrümmt erscheinen. Ihre Enden haben zuweilen eine kleine Anschwellung, welche entfernt an einen verkümmerten Huf erinnert.

Die Kopfenden der Griffelbeine sind ebenfalls mit Spongiosa angefüllt, während die distalen einer solchen entbehren, da sie keinen Druck erleiden; denn die Griffelbeine werden nicht als Stütze benutzt, da sie kürzer sind als die Röhre. Wegen Mangel an Funktion scheint uns ihre Existenz wenig berechtigt zu sein, und so fragen wir uns, wie ist ihr Vorhandensein zu erklären.

Um darauf antworten zu können, müssen wir auf den Stammvater unseres Pferdes zurückgreifen. Die Wiege des ganzen Pferdegeschlechts liegt abseits von seinem jetzigen Verbreitungsgebiet, nämlich in Nord-Amerika[2]). Nach Annahme der Palaeontologen leiten sich die verschiedenen Formen der Huftiere, zu welchen das Pferd gehört, von einer Stammform ab. Diese hat wahrscheinlich in der Kreidezeit in feuchten Waldungen und sumpfigen Niederungen gelebt. Vor dem Einsinken in

[1]) Architektur der Spongiosa

[2]) Keller, Abstammung der ältesten Haustiere.

den weichen Boden schützte das Tier eine Extremität mit 5 Zehen und ebensoviel Mittelfussknochen. Doch hat man die Urform bis jetzt noch nicht gefunden. Die Vielzahl der Zehen des Urtieres wurde bei Verlegung des Aufenthaltsortes auf trocknere und härtere Flächen überflüssig, eine Vereinfachung der Zehenzahl war geboten und sogar notwendig, um den hier lebenden schnellfüssigen Feinden zu entgehen, da es Waffen wie Hörner oder entsprechenden Zahnbesatz nicht besass.

Von Anfang an hat die Reduktion der Zehen zwei Richtungen eingeschlagen, und je nachdem die Belastung durch den Körper vorwiegend auf den Mittel- oder auf der dritten und vierten Zehe ruhte, wurden die Gliedmassen paarhufig oder unpaarhufig. Knochenreste der älteren Gattung, welche die Neigung zu Unpaarhufern zeigt und der Urform am nächsten steht, hat man in den unteren Schichten des Eocäns gefunden. Owen hat diese Familie, welche zu Anfang der Tertiärzeit gelebt hat, „Coryphodon“ genannt.

Dieses Tier war in Gestalt und Lebensweise ähnlich dem Tapir, besass jedoch noch fünf Mittelfussknochen und eben soviel Zehen, von denen die mittlere, dritte, vorwiegend belastet und entwickelt ist, während die äussersten zur Verkümmerung neigen. Allmählich verkümmerte die fünfte Zehe vollständig, und das Tier tritt uns im Untereocän als Eohippus vierzehig mit einem Rest vom Mittelfuss der fünften Zehe entgegen [1])

Mit diesem Typus hat sich, wie an der Struktur der Füsse und Zähne ersichtlich, die Ahnenreihe des jetzigen Pferdes von den anderen Unpaarhufern getrennt. Das Rudiment der fünften Zehe verschwindet in der nächst höheren Abteilung des Eocäns, und es erscheint eine neue Gattung, Orohippus, die der Gestalt nach grösser ist als die vorhergehende und mehr Aehnlichkeit mit dem Pferde aufweist. Im Anfang des Miocäns entwickelt sich

[1]) M. Wilckens, Grundzüge der Naturgeschichte der Haustiere.

daraus der Mesohippus, welcher nur mit drei Zehen die Erde berührt; die vierte ist als Rudiment vorhanden oder auch gänzlich verschwunden. Diese Uebergangsform ist von kurzer Dauer; schon im oberen Miocän folgt ihr der Miohippus, der nur drei Zehen hat, von denen die mittelste am kräftigsten entwickelt ist; die Seitenzehen erheben sich etwas, können aber auf weichem Boden noch Dienste leisten. Im unteren Pliocän findet sich der Protohippus mit drei behuften Zehen, von denen nur die mittlere den Boden berührt. Beim Pliohippus des mittleren Pliocäns fallen die Afterhufe fort, und im oberen Pliocän kommen die eigentlichen Pferde auf.

Auf europäischem Boden finden wir den ältesten Vorfahr unseres Pferdes im Paläotherium, einem Tier mit drei Zehen, welche den Boden berühren; die mittlere ist am kräftigsten entwickelt. Es wird vom Anchitherium, das dem amerikanischen Miohippus ähnlich ist, abgelöst. Wie letzterer durch Protohippus so wird das Anchitherium durch das Hipparion ersetzt. Dieses hat noch am zweiten und vierten Mittelfussknochen behufte, jedoch funktionslose Zehen. Später verschwinden sie, die Mittelfussknochen verkümmern zu Griffelbeinen, und es entsteht das oben beschriebene Röhrbein des heutigen Pferdes.

In Amerika sind die autochtonen Pferde ausgestorben; der jetzige Pferdebestand hat sich aus dorthin verpflanzten Individuen der alten Welt entwickelt.

Nachdem wir den Gegenstand, mit welchem wir uns beschäftigen wollen, im allgemeinen kennen gelernt haben, wollen wir zu den Untersuchungen übergehen.

Dieselben erstrecken sich auf 54 Metakarpen von Pferden verschiedener Rassen. Dieses Material wurde von dem Breslauer Schlachtviehhofe und einem Rossschlächter geliefert, auf Veranlassung des Herrn Professor Dr. Holdefleiss, dem ich für die gütige Unterstützung, die er mir bei dieser Arbeit angedeihen liess, zum grössten Danke verpflichtet bin. Das Alter und die Rasse der Pferde, von welchen die Knochen stammen, waren bei der Lieferung

angegeben. Was das erstere anbetrifft, so dürften die Mitteilungen darüber wohl ziemlich genau sein, da die Pferdekäufer in der Bestimmung desselben, soweit diese in den Grenzen der Möglichkeit liegt, einige Sicherheit haben. Weniger zuverlässig scheinen die Bezeichnungen der Rasse zu sein, da als solche z. B. „Schlesisches Landpferd“ angeführt wird. Die Einzelnamen sind jedoch nicht von besonderer Wichtigkeit, da es sich hauptsächlich nur um die Trennung von Kalt- und Warmblut handelt, welche Unterscheidung auch richtig getroffen ist. Es war mir leider unmöglich, die Tiere persönlich in Augenschein zu nehmen, um mich von der Richtigkeit der Daten zu überzeugen, und was noch wichtiger wäre, den Röhrbeinumfang am lebenden Tiere festzustellen. Aus dem Verhältnis des Umfanges des intakten Knochens zu dem freigelegten liessen sich vielleicht Anhaltspunkte für die Schätzung der wirklichen Knochenstärke gewinnen, da bis jetzt, so weit mir bekannt, solche Vergleiche in grösserem Umfange nicht angestellt worden sind. Einen kleinen Versuch nach dieser Richtung machte S. v. Nathusius[1]), den ich folgen lasse.

Bezeichnung der Pferde	vor dem Schlachten	enthäutet	gereinigter Knochen
Fuchswallach; ziemlich edel	20,5 cm.	13,3 cm.	12,0 cm.
Brauner Wallach; klein u. edel, Litauer	17,25 „	11,5 „	10,5 „
Braune Stute; gross, gemein	20,0 „	15,25 „	14,0 „

Hätte ich die Lieferanten mit den Messungen an lebenden Tieren betraut, so wären diese vielleicht nicht

[1]) Unterschiede zwischen der morgen- und abendländischen Pferdegruppe am Skelett und am lebenden Pferde.

richtig und sorgfältig genug ausgeführt worden, um daraus sicheren Schluss ziehen zu können. An den mir zur Verfügung stehenden Schienbeinen konnte ich nicht mehr die Beinstärke bestimmen, da sie mir schon enthäutet zugeschickt wurden. Die Freilegung der Knochen von Fasern und Sehnen habe ich an allen Exemplaren eigenhändig bewerkstelligt, jeder linke Mittelfuss kam in die Sammlung für Tierproduktionslehre an unserem Institut, den rechten habe ich für meine Untersuchungen verwendet.

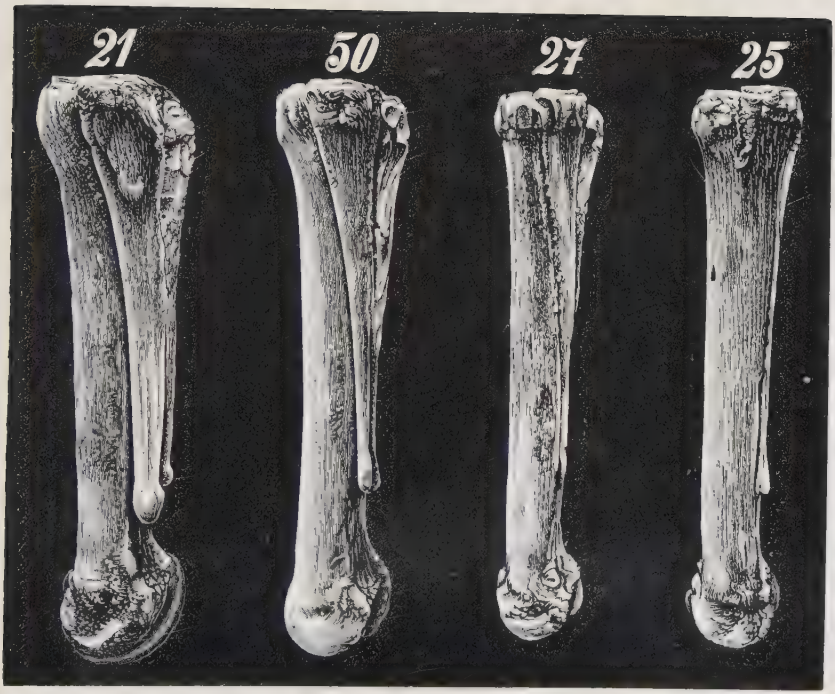
In der Reihenfolge, in welcher sie geliefert und gesäubert wurden, habe ich sie mit laufenden Nummern versehen.

Zuerst habe ich das Gewicht jedes einzelnen Metacarpus festgestellt, welches je nach der Grösse zwischen 245 gr. und 719 gr. schwankt, sodass die erste Zahl von der letzten fast dreimal übertroffen wird.

Sodann nahm ich an den Griffelbeinen und der Röhre Längenmessungen vor. Dazu diente mir ein tasterähnliches Instrument, bestehend aus hölzener Laufschiene mit metallenen Querarmen, von welchen der eine am Nullpunkte der Skala fest, der andere verschiebbar war; an dieser konnte man die Masse in Centimetern und Millimetern ablesen. Die weitere Dezimale beruht auf Schätzung, die einigermassen richtig sein dürfte, wenngleich es auf ihre Genauigkeit nicht besonders ankommt.

Mit der Länge der Griffelbeine bezeichne ich die kürzeste Verbindung ihres äussersten distalen und proximalen Punktes.

Streng genommen entspricht dieses Mass nicht genau der Wirklichkeit, da die Griffelbeine etwas gekrümmt, also tatsächlich länger sind. Ihre Länge ist im Verhältnis zur Röhre ziemlich konstant, etwa 71 % der letzteren mit kleinen Schwankungen von ca. 3 % nach beiden Seiten. Das Auge erhält den Eindruck, als ob die Griffelbeine der schweren Pferde verhältnismässig länger wären, als



Rückbildung der Griffelbeine.

die der leichten; darin herrscht aber keine Regelmässigkeit, bald sind diese, bald jene länger.

Beide Griffelbeine an derselben Röhre sind untereinander auch nicht ganz gleich. In den Anatomieen von Frank-Martin und Ellenberger-Baum heisst es, dass durchschnittlich das mediale länger ist als das laterale. Ausführlichere diesbezügliche Untersuchungen sind von Rudert, Cand. med. vet.[1]) gemacht worden. Diese ergaben, dass in 52,5 % sämtlicher Fälle das innere, in 32 % das äussere Griffelbein länger war, während bei 15,5 % beide gleich lang waren. An meinem Material war das mediale in 47 % sämtlicher Fälle länger, bei 40 % kürzer, bei 13 % ebenso lang wie das laterale.

Ruderts Feststellungen sind in sofern nicht ganz exakt, als er sie zum Teil an lebenden Tieren gemacht hat, wobei er voraussetzte, dass dasjenige Griffelbein, welches weiter nach unten reicht, auch absolut länger sei. Das trifft aber nicht immer zu; denn wie ich beobachtet habe, kann ein Griffelbein, obgleich es mehr nach unten geht, mitunter ebenso lang oder sogar kürzer sein als das andere, was ich in den beigefügten Tabellen durch das übliche Zeichen $<$ (kleiner als) bezw $>$ (grösser als) ausgedrückt habe. Wo das Zeichen fehlt, ragen selbstverständlich die absolut längeren auch weiter, und die gleich langen gleich weit nach unten.

Weit wichtiger als die Länge der Griffelbeine ist für uns ihr Rückbildungsgrad an den einzelnen Schienbeinen. S. v. Nathusius[2]) spricht darüber: „Die Verkümmerung der Metacarpalien scheint allerdings im allgemeinen bei den Occidentalen weniger weit vorgeschritten, als bei den arabischen Pferden. Ob dabei aber nicht bloss der Augenschein trügt, scheint zum mindesten fraglich“. Nach den Beobachtungen von Herrn Professor Holdefleiss und meinen Messungen kann ich den letzten

[1]) Berliner Tierärztliche Wochenschrift 1901 Nr. 46.

[2]) Unterschiede u. s. w.

Satz streichen und den ersten dahin verallgemeinern, dass je schwächer das Schienbein, um so auffallender der Rückgang der Griffelbeine. Leider war es mir nicht möglich, dies mit Zuhülfenahme des Gewichts oder Volumens zu bestätigen. Dazu hätte ich die Griffelbeine von der Röhre trennen müssen, was mit Schwierigkeiten verbunden ist, und zwar sind diese um so grösser, je inniger die Griffelbeine mit der Röhre zusammenhängen. Beim starken Röhrbein sind die Griffelbeine durch Faser an der Röhre befestigt. Diese Verbindung besteht nur auf einer verhältnismässig kurzen Strecke. Infolge der rundlichen Form der Griffelbeine ist die Berührungsfläche sehr schmal, so dass sie sich scharf abheben, wodurch zwischen ihnen und der Röhre eine tiefe Trennungsfurche verursacht wird (Nr. 21). Am schwachen Schienbein dagegen sind die Griffelbeine angewachsen. Mit Abnahme der Knochenstärke nimmt die Verwachsung an Fläche und Strecke zu, was ein entsprechendes Verschwinden der Trennungsfurche nach sich zieht. (Vergl. Photographie). Auf einem Querschnitt stellt sich die Knochennaht bei stärkeren Röhrbeinen als eine grobe, manchmal sogar unterbrochene (Nr. 33), bei schwächeren als eine feine Linie dar. Hätte man die angewachsenen Griffelbeine von der Röhre trennen wollen, so könnte dies nur durch Abmeisseln geschehen. Bei einem Versuche, diese an sich mühevolle Operation durchzuführen, bröckelten Teile der Röhre mit ab, oder es flogen die abgemeisselten Stücke im ganzen Zimmer umher und konnten nicht mehr vollzählig aufgesammelt werden. Dieser Umstand hätte das Ergebnis der Wägung und Volumenbestimmung beeinträchtigt. Da mir dieser Weg nicht offen stand, habe ich mir auf folgende Weise geholfen.

Ich habe an einer und derselben Stelle den Umfang des Schienbeins zuerst mit und dann ohne Griffelbeine gemessen und die letztere Masszahl in Prozenten der ersten ausgedrückt. Die Differenz bis Hundert ergibt den prozentischen Verlust, der durch den Wegfall der

Griffelbeine verursacht wird. Je grösser dieser, desto massiger sind jene. Wäre ihre Rückbildung an allen Schienbeinen gleich weit vorgeschritten, so müsste der prozentische Verlust überall gleich sein. Da er aber, wie die Rechnung zeigt, mit der Zunahme der Knochenstärke steigt, so folgt daraus, dass damit die Reduktion der Griffelbeine abnimmt. Folgendes Beispiel diene als Erläuterung.

Nr. 21 misst mit Griffelbeinen 161,3 mm im Umfange; an derselben Stelle ohne Griffelbeine 140,6 mm = 87 % der ersteren Zahl. Demnach beträgt der Verlust 100—87 = 13 %; bei der folgenden Nr. 22 dagegen nur 3 %; also sind die Griffelbeine mehr rudimentär geworden.

Die grössere oder geringere Verkümmerung der Griffelbeine tritt nicht nur in der verschiedenen Massigkeit, sondern auch in verschiedener Form, Lage und Richtung derselben hervor. An schwachen Schienbeinen sind die Griffelbeine abgeflacht und verkriechen sich, wenn ich mich so ausdrücken darf, durch eine Einwärtsbiegung hinter die Röhre, so dass sie sich an diese — nicht selten in einer Einsenkung oder Einbuchtung — genau anschmiegen. Bei stärkeren Schienbeinen sind sie rundlicher, gehen grade und seitlich abstehend nach unten, wodurch sie den Umfang unverhältnismässig stark erweitern. Bei Nr. 21 verschwinden die Griffelbeine von vorn gesehen überhaupt an keiner Stelle hinter die Profillinie der Röhre, sondern ragen sogar 2,5 mm über sie hinaus, was bei der Messung des Umfanges ein bedeutendes Plus ausmacht.

Man sollte nun meinen, je grösser und stärker die Griffelbeine, desto bessere Dienste müssten sie leisten. Das ist jedoch nicht der Fall. Ihre Hauptaufgabe beruht nämlich darin, eine möglichst grosse Gelenkfläche und Ansatzstelle für die Bänder zu schaffen; dazu dienen ausschliesslich die Griffelbeinköpfe, und diese sind bei schwachen und starken Röhren verhältnismässig gleich,

bei ersten mitunter sogar stärker entwickelt. Ferner ist, wie bereits erwähnt, die Verbindung der Griffelbeine mit schwächeren Röhren inniger als mit stärkeren. Demnach steigt der Wert der Griffelbeine mit Abnahme der Knochenstärke.

Aus diesen vergleichenden Betrachtungen ergibt sich der Schluss, dass die grössere Knochenstärke durch die Griffelbeine wesentlicher beeinflusst wird, als die geringere. Dadurch wird ein Urteil auf die Widerstandsfähigkeit der Röhre aus dem Umfange um so unsicherer, je grösser die Knochenstärke ist. Da zugleich die massigeren Griffelbeine den schwächeren an Tauglichkeit nachstehen, so wird der Vorteil, den etwa die grössere Knochenstärke vor der geringeren haben sollte, durch die Minderwertigkeit dieser Griffelbeine aufgehoben.

Während man an den Griffelbeinen die Länge nur in einer Form feststellen kann, ermöglicht die Röhre selbst eine vierfache Modifikation dieses Masses. Diese Vielzahl ist in der Gestalt des Knochens gegeben. Alle vier Masse unterscheiden sich wenig von einander durch ihren numerischen Wert und ihre Bedeutung für die Knochen selbst; ich habe sie der Vollständigkeit und des Vergleiches halber genommen, weil in der Literatur[1]) das eine oder das andere als Masseinheit benutzt wird. Entsprechend den Stellen an der Röhre, an welchen die Fixpunkte für die Schublehre lagen, habe ich die Masse benannt. Das oben erwähnte Messinstrument lag dabei der Längsachse parallel, so dass eigentlich nicht die direkte Entfernung der fixierten Punkte, sondern ihre Projektion auf die Querarme im Masse zum Ausdruck kam.

„Die Länge der Aussenseite ist gemessen von der Aussenecke der lateralen Facette an der oberen Gelenkwalze. Es ist also bei der letzteren Messung die mittlere

[1]) Nehring, Fossile Pferde aus deutschen Diluvial-Ablagerungen Landw. Jahrbücher 13, Kraemer.

Rolle der unteren Gelenkwalze nicht mitgerechnet[1])." Ganz analog ist die Länge an der Innenseite genommen.

Von diesen beiden Längenmassen an demselben Metacarpus ist gewöhnlich das innere wenige Millimeter, manchmal sogar nur einige Bruchteile davon kürzer als das äussere. Länger war es in 7 der untersuchten Fälle = 13 %, gleich lang waren beide in 2 Fällen = 3,7 %.

Während Nehring den Ausdruck „die grösste Länge" für so allgemein verständlich hält, dass er darüber kein Wort verlieren zu brauchen glaubt, muss ich kurz darauf eingehen. Veranlassung gibt mir Kraemers Auffassung von diesem Masse. Kraemer versteht darunter, soweit ich es aus der Zeichnung in Heft 1 der D. L. T. 1906 ersehen kann, die Entfernung der äussersten Punkte am Kamme auf der Gelenkwalze von dem Schnittpunkte des Randes der oberen Gelenkfläche und einer der Mittellängsachse parallelen Linie. Dieses Mass ist aber nicht das grösste, verdient also auch diesen Namen nicht. Ferner ist es konstruiert, und nicht in der Gestalt des Knochens gegeben. Der Umriss der Röhre ist nämlich keine mathematisch regelmässige Figur, und man weiss nicht genau, welche Richtung die Mittellängsachse und somit auch ihre Parallele hat. Man muss sich dabei auf das Augenmass verlassen, wobei eine kleine Divergenz der Richtung eine verhältnismässig grosse Differenz in der Länge nach sich zieht, da die Begrenzungslinie der oberen Gelenkfläche nicht senkrecht zu dieser Richtung liegt. Ich habe es versucht, das Mass im Sinne Kraemers zu nehmen, und es mit Länge in der Mitte bezeichnet. Unter grösste Länge verstehe ich die Tasterentfernung der äussersten Spitze der proximalen Gelenkfläche von den äussersten Punkten des Kammes auf der distalen Gelenkwalze. Ich will gern und offen zugeben, dass die geringe Differenz zwischen den beiden Massen — es handelt sich manchmal nur um Zehntel Millimeter — für die Be-

[1]) Nehring, l. c.

urteilung und Bewertung des Metacarpus bedeutungslos ist. Es ist jedoch ohne Vorteil, mit Mühe etwas zurechtzukonstruieren, was mit Leichtigkeit und Genauigkeit festgestellt werden kann, da es gegeben ist.

Ein Vergleich der grössten Länge mit der Länge an der Aussenseite derselben Röhre lehrt uns, dass letztgenanntes Mass vom ersten um einige Millimeter, in der Regel 12 bis 17, übertroffen wird. Die Schwankung liegt zwischen 18,8 mm (Nr. 33) und 9,5 mm (Nr. 30).

Prüfen wir unser gesamtes Material auf die grösste Länge hin, so schwankt sie zwischen 23,12 cm (Nr. 15) und 26,80 cm (Nr. 54). Metacarpus Nr. 43 müssen wir aus unserer Betrachtung ausscheiden, da er von einem Pony herrührt; ebenso Nr. 10 und Nr. 51, da sie von äusserst kleinen Pferden stammen.

Eine feste Grenze nach unten zu für die Länge der Röhre zu ziehen, ist wohl kaum möglich, doch dürfte es nicht zu weit gegriffen sein, anzunehmen, dass beim Pferde der Metacarpus III im äussersten Falle nicht viel über 28 cm misst. Das Röhrbein der schweren Pferde übertrifft dasjenige der leichten an Länge.

Aus diesen absoluten Zahlen können wir uns noch kein Bild von dem Knochen machen, an dem sie gewonnen sind; notwendigerweise muss zur Länge noch die Breite hinzukommen.

Letztere habe ich mit einem Taster mit vortragendem Nonius bestimmt. Als Anlegepunkte für die Tasterarme bei Feststellung der Breite an den Enden galten die für die Seitenlängen massgebenden Punkte, die kleinste Breite habe ich durchs Probieren ermittelt.

Am proximalen Ende schwanken die Breitenmasse zwischen 4,97 cm und 7,41 cm, am distalen zwischen 4,91 cm und 7,36 cm (Nr. 30 u. 21).

Die Zahlen zeigen, dass, wenn man die Griffelbeine nicht berücksichtigt, die Röhre am proximalen und distalen Ende fast gleich breit ist. In der Regel ist das obere oder proximale Ende ein wenig stärker als das

untere oder distale, und zwar bewegt sich der Unterschied nach den vorliegenden Messungen bis 6,8 mm. Nur selten ist das obere Ende ausnahmsweise schwächer; bei den vorliegenden Knochen nur einmal, und zwar nur um 0,9 mm.

Erinnert man sich, dass auch die Seitenlängen wenig von einander abweichen, so kann man die Röhre in ein Rechteck einzeichnen.

„Ein Hauptmass zur vergleichenden Erforschung der Knochenschlankheit schien mir der Breitenindex zu sein, d. h. das Verhältnis der Breiten in den Mitten der Diaphysen zu den ganzen Längen des Metacarpus, wenn ich die letzteren auf das Einheitsmass 100 erhebe," sagt Kraemer in der D. L. T. 1906 Heft 1.

Ich halte es für richtiger, die Definition des Breitenindex dahin abzuändern, dass er das Verhältnis der kleinsten Breite zur grössten Länge ausdrückt, da man doch im alltäglichen Leben zur Beurteilung der Schlankheit eines Gegenstandes nicht seine Mitte, sondern seine schmalste Stelle heranzieht. Ausserdem ist die Breite in der Mitte, die ja eine Mittelsenkrechte auf der grössten Länge ist, durch die nicht genaue Bestimmbarkeit dieser Linie (nach Kraemer) auch nicht sicher gegeben.

Wenn ich in den Tabellen eine Rubrik der Breite in der Mitte eingeräumt habe, so meine ich die Mitte der grössten Länge nach meiner Auffassung dieser Strecke.

Wenden wir unsere Aufmerksamkeit den kleinsten Breiten an unserem Material zu, so bemerken wir, dass sie sich zwischen 3,12 cm (Nr. 30) und 5,09 cm (Nr. 21) bewegen. Sie sind der Länge nicht proportional, worüber uns am besten die Breitenindices Aufklärung geben. Letztere schwanken von 13,07 (Nr. 45) bis 19,22 (Nr. 21), und zwar sind sie um so grösser, also der Knochen um so plumper, je mehr sich das betreffende Individuum dem Kaltblut nähert. Die kleinste Breite liegt meist in der proximalen Hälfte der Diaphyse, wie man es aus der Berechnung ihrer proximalen Entfernung in % der grössten

Länge ersehen kann. Nur in zwei Fällen (Nr. 10 und 46) befindet sie sich in der distalen Hälfte, bei 10 Metacarpen fällt sie in die Mitte derselben.

Tscherski[1]) bezeichnet das Tier bei einem Breitenindex unter 15 als dünnfüssig und benutzt zur Feststellung desselben die Länge an der Aussenseite und die Breite in der Mitte. Obgleich sich die Breitenindices trotz verschiedener Berechnungsart nahekommen, so kann ich die von ihm aufgestellte Klassifikation nicht verwenden, da die verschiedenen Rassen, welche ich zu meinen Untersuchungen herangezogen habe, nicht nach demselben Schema beurteilt werden dürfen.

Man könnte geneigt sein, das Schienbein als einen Stab zu betrachten, was wohl auch nicht selten getan wird, und demnach das schlankere Röhrbein, also das mit geringerem Breitenindex für schwächer zu halten. Eine solche Beurteilung ist nicht zulässig, denn der Knochen bildet, wie schon der Name sagt, eine Röhre, und bei dieser ist auch die Wandstärke für die Festigkeit massgebend. Um Klarheit über die Wandstärke zu gewinnen, habe ich einige Schienbeine von verschiedenem Breitenindex geöffnet.

Ein transversaler Längsschnitt zeigt, dass, je grösser der Breitenindex ist, desto mehr die innere Umgrenzung der Wand der äusseren parallel läuft, desto weniger die Wände in der Mitte einander nahekommen. Also auch das Innere eines starken Knochens macht auf uns den Eindruck der Plumpheit. Seine Compacta läuft nach den Enden zu in einem wenig geöffneten Trichter aus. Die Spongiosa, welche letzteren nur auf eine kurze Strecke ausfüllt, geht bald und plötzlich in die Compacta über. Die Bälkchen und Plättchen zeigen eine nur geringe Biegung. Die mediale Wand ist kräftiger entwickelt als die laterale.

[1]) Kraemer, l. c.

Ein ganz anderes Bild bietet sich auf dem transversalen Längsschnitt durch eine Röhre mit kleinem Breitenindex. Hier stellt sich die Begrenzung der Compacta als zwei excentrische Kreisbogen dar, mit der convexen Seite der Längsachse des Knochens zugekehrt, von denen der innere einen kleineren Radius hat als der äussere, so dass sich beide an den Enden des Metacarpus fast schneiden. Die Wände, von denen die laterale der medialen an Stärke fast gleicht, convergieren ziemlich bedeutend nach der Mitte zu, um allmählich in schön geschwungene Bogen der Spongiosa überzugehen. Sehr anschaulich sind diese Verhältnisse auf Röntgenphotographien wiedergegeben, die Kraemer in D.L.T. Heft 2, bringt.

Ein sagittaler Längsschnitt eines Knochens vom kleinen und grossen Breitenindex zeigt grössere Uebereinstimmung als ein transversaler. Die Spongiosa behält zwar ihre charakteristischen Unterschiede. Die Wände der Compacta dagegen laufen bei den Diaphysen von verschiedenem Typus einander parallel, nur tritt bei grossem Breitenindex die Stärke der volaren Wand erheblich gegen die der dorsalen zurück; beim geringen Breitenindex gleichen sich fast die Wandstärken.

Leider bin ich nicht in der Lage, die Längsschnitte an Photographien illustrieren zu können, doch lassen Abdrücke von Querschnitten einen genauen Einblick in die Dickenverhältnisse der Wandungen tun. Den Schnitt habe ich in der Mitte der Diaphyse senkrecht zur Längsachse mit einer Laubsäge gelegt, nachdem ich vorher die Schnittebene mit einem feinen Drahte markiert hatte.

Ich wählte aber nicht, wie ich beabsichtigte und es wohl passender gewesen wäre, die kleinste Breite zur Schnittfläche, da ich hier mitunter noch Spongiosa vorfand, welche die Grenze zwischen Knochen und Mark nicht scharf genug hervortreten liess. Nachdem der Knochen durchsägt war, entfernte ich auf der distalen Diaphysenhälfte nach Bedarf das Mark und stellte mit Feile und Glaspapier eine ebene, glatte Fläche mit scharfen Kanten

her. Die Fläche zerlegte ich mit einem Kopierstift in 4 Quadranten durch ein Achsenkreuz. An diesem habe ich den Knochenzylinder und den Markraum mit einem Taster bis auf $^1/_{10}$ mm genau vermessen. Schliesslich bestrich ich auch die Kanten mit dem Kopierstift und drückte den ganzen Querschnitt auf entsprechendes Papier ab. Die Abdrücke sind haarfein und haarscharf gelungen, haben aber leider durch das weitere Uebertragen an Schärfe eingebüsst. Sie stellen die Ansicht der proximalen Schnittfläche dar.

Im Coordinatensystem habe ich die transversallaufende Abscisse mit „grosse Achse", die sagitallaufende Ordinate mit „kleine Achse" bezeichnet und je nach dem sie durch die innere oder äussere Knochenwandung begrenzt werden, durch das Wort „innen" bezw. „aussen" näher charakterisiert.

Betrachten wir zuerst die Achsen. Es könnte auffällig erscheinen, dass die Breite in der Mitte und die grosse Achse aussen nicht genau in der Länge übereinstimmen, obgleich sie in derselben Ebene liegen. Dieser Unterschied findet seine Erklärung darin, dass die Fixpunkte für die Breite nicht immer in die Achse fallen, weil der Querschnitt mitunter eine etwas verschobene Ellipse darstellt, jedoch beträgt der Unterschied nur wenige Zehntel Millimeter.

Die grosse Achse aussen schwankt zwischen 3,24 cm (Nr. 3) und 5,13 cm (Nr. 21), die kleine bewegt sich zwischen 2,38 cm (Nr. 30) und 3,40 cm (Nr. 21). Beide nehmen mit dem Breitenindex, wenn auch nicht verhältnismässig, zu.

Setzen wir die beiden Achsen zueinander in Proportion, so finden wir, dass diese an den stärksten Röhren am kleinsten ausfällt. Wenn wir der Röhre mit dem grössten Achsenverhältnis die Ordnungszahl 1. geben u. s. f. bis dem Metacarpus mit dem kleinsten Verhältnis die Zahl 54 zukommt, und diese Ziffern mit den Ordinalzahlen der Schienbeine nach der Grösse des Breitenindex geordnet

vergleichen, so finden wir, dass diese beiden Zahlen bei den stärksten Knochen beinahe völlig übereinstimmen. Drückt die erste von den folgenden Zahlen die Reihenfolge nach dem Achsenverhältnis, die zweite die Ordnung nach dem Breitenindex aus, so gestaltet sich die Reihe folgendermassen 54—54; 53—50; 52—53; 51—49; 50—52; 49—34; 48—45; 47—48; 46—46; 45—40; 44—43.

Die darauf folgenden Zahlen lassen keine so auffällige Uebereinstimmung erkennen. Die Erklärung hierfür liegt darin, dass die Verhältniszahlen der Achsen und die Breitenindices absolut untereinander wenig verschieden sind; infolgedessen ruft eine kleine Differenz eine relativ grosse Verschiebung in der Reihenfolge hervor.

Die Achsenverhältnisse beweisen, dass die starken Knochen flacher gebaut sind als die schwachen, z. B. 66,3% (Nr. 21) gegen 81,8% (Nr. 3) und dass die Flachheit mit dem Breitenindex zunimmt, mit anderen Worten: die starken Knochen sind besonders in transversaler Richtung ausgebildet.

Die grosse Achse innen schwankt zwischen 1,22 cm (Nr. 3) und 3,16 cm (Nr. 21), die kleine Achse innen bewegt sich von 1,11 cm (Nr. 3) bis 2,30 cm (Nr. 21).

Das Verhältnis der inneren Achsen zu einander habe ich nicht aufgestellt, denn eine enge Proportion kann sowohl vorteilhaft als auch nachteilig sein, je nachdem die grosse Achse innen im Verhältnis zur äusseren kürzer oder die kleine Achse verhältnismässig länger ist. Was die Wandstärke anbetrifft, die auf dem Achsenkreuz gemessen wurden, so schwankt sie bei der medialen Wand zwischen 0,63 cm (Nr. 8) und 1,36 cm (Nr. 16), bei der lateralen zwischen 0,60 cm (Nr. 39) und 1,03 cm (Nr. 5), bei der dorsalen zwischen 0,55 cm (Nr. 51) und 0,92 cm (Nr. 28), bei der volaren zwischen 0,36 cm (Nr. 21) und 0,87 (Nr 46).

Diese Grenzwerte zeigen, dass die Wandungen in genannter Reihenfolge im Durchschnitt an Stärke abnehmen. Nicht bei jedem Metacarpus liegt die absolut dickste Stelle der medialen Wand gerade auf der Achse, meist ist sie zwischen der medialen und dorsalen Halbachse zu finden

und wandert um so weiter dorsal, also nach vorn, je kleiner der Breitenindex, so dass sie bei schlanken Metacarpen gerade auf die dorsale Wand rückt. Ja es kommt sogar vor, dass die laterale Wand die stärkste, ebenso dass die volare nicht die schwächste ist. Ob die Wände mit dem Breitenindex regelmässig an absoluter Stärke zu- oder abnehmen, lässt sich nicht entscheiden. Doch die mächtigsten Knochen bleiben an Wandstärke hinter schwächeren zurück. Besonders tritt dies an der volaren Wand hervor. So misst sie bei Metacarpus 21 mit dem grösten Breitenindex nur 0,36 cm od. 48,7% der Vorderwand, während Metacarpus Nr. 3 mit Breitenindex 3—116, 9%, Metacarpus Nr. 15 mit Breitenindex 4—135% aufweist. An umfangreichen Röhren sind die Wände an Stärke wenig ausgeglichen; ihre Dickenverhältnisse zeigen einseitige Ausbildung in transversaler Richtung.

Relativ bleiben die breiten Metacarpen hinter den schmalen, wie uns die Querschnitte lehren, an Wandstärke zurück, jedoch kann uns das Augenmass täuschen; auch ist ein Urteil, das auf Schätzung beruht, mehr oder weniger subjektiv. Will man etwas Positives und Objektives bringen, so muss man es zahlenmässig darstellen. Man könnte aus der Länge beider Aussenachsen eines Querschnittes einen mittleren Radius konstruieren und darauf die durchschnittliche Wandstärke der entsprechenden Röhre beziehen.

Ein genaueres Resultat erhält man, wenn man den Radius des Querschnittes und den des zugehörigen Markraumes sich herstellt, aus ihrer Differenz die durchschnittliche Wandstärke berechnet und diese zum grösseren Radius ins Verhältnis setzt. Dazu müssen uns die Inhalte bekannt sein.

Zu ihrer Ermittelung benutzte ich ein Polarplanimeter. Dieses Instument zeichnet automatisch den Inhalt einer Figur in Quardratmillimetern auf, wenn man ihre Peripherie mit einem Punkt am Apparat verfolgt.

Jedoch war es nicht möglich, die Querschnitte am Knochen selbst mit dem Planimeter zu umfahren; dagegen

erwiesen sich ihre oben erwähnten Originalabdrücke als vorzüglich dazu geeignet. Das Instrument ist so vortrefflich eingerichtet, dass man den einen Umfang in einem Sinne, den anderen im entgegengesetzten zu umfahren braucht, um zugleich den Inhalt des ganzen Querschnittes, den Inhalt des Markraumes und den des Knochenringes zu erhalten. Metacarpus Nr. 10, 43, 51, ausser acht gelassen, schwankt die Fläche der Knochenmasse zwischen 448 Quadratmillimetern (Nr. 6) und 800 qmm (Nr. 21), der ganze Querschnitt zwischen 568 qmm (Nr. 30) und 1608 qmm (Nr. 21), der Markraum von 112 qmm (Nr. 3) bis 808 qmm (Nr. 21).

Denkt man sich die Knochenmasse kreisförmig angeordnet, so kann man aus Inhalt J. des ganzen Querschnittes seinen Radius r bezw. ρ aus dem des Markraumes nach der Formel $J = \pi r^2$, also $r = \sqrt{\frac{J}{\pi}}$ ermitteln. Die mittlere Wandstärke ist gleich $(r - \rho)$. Sie schwankt bei den einzelnen Metacarpen zwischen 6,0 mm (Nr. 6) und 9,3 mm (No. 16). Irgendwelche regelmässig wiederkehrende Beziehung der absoluten mittleren Wandstärke zum Breitenindex besteht nicht; doch gehört der stärkste Metacarpus No. 21 mit zu den dünnwandigen. Die relative Wandstärke, das ist ihre Proportion zum Radius r, steht öfters im umgekehrten Verhältnis zum Breitenindex.

Wenn die grösste relative Wandstärke und der kleinste Breitenindex wieder die Ordinalzahl 1 haben, die umgekehrten Fälle die Zahl 54, so ist die entgegengesetzte Uebereinstimmung folgende: 54—54 (Nr. 21); 51—51 Nr. 52); 50—52 (Nr. 12); 47—45 (Nr. 54).

Man kann also sagen, dass die stärksten Röhren die relativ schwächsten Wände besitzen.

Wollten wir noch kurz auf die Fläche des Querschnittes zurückgreifen, so dürfte wohl sein Inhalt die Durchschnittsziffer der im ganzen Knochen verschieden verteilten Knochenmasse ausdrücken. Man braucht sie dann nur mit der Länge des zugehörigen Metacarpus zu multiplizieren, um dessen Inhalt zu erhalten. Prof. Kraemer

verfährt auf ähnliche Weise. Er berechnet die Fläche als Ellipse aus der Differenz der Produckte der kleinen und grossen Achsen dividiert durch 4 und multipliziert das Resultat mit der Länge.

Ich habe das Volumen auf einem anderen Wege ausgerechnet. Jedoch schliesst es nur die Compacta und Spongiosa ein, und zwar sowohl die der Röhre selbst wie auch die der Griffelbeine. Es schwankt von 108 ccm (Nr. 30) bis 287 ccm (Nr. 21).

Bei den bisherigen Betrachtungen suchte ich die Unterschiede zwischen den Knochentypen auf den Breitenindex zu beziehen, um an ihm ein numerisches Kriterium zu haben. Am lebenden Pferde dürfte es wohl kaum möglich sein, den Breitenindex festzustellen; man misst in der Praxis den Umfang des Röhrbeins. Wir müssen demnach diesem Masse unsere Aufmerksamkeit schenken. Jedoch kann ich aus den anfangs erwähnten Gründen nur den Umfang des gesäuberten Metacarpus in Erwägung ziehen. Dass ich die Röhrbeinstärke am lebenden Tier nicht nehmen konnte, ist meiner Ansicht nach kein zu grosser Verlust, da sich sicherlich kein regelmässig wiederkehrendes Verhältnis zur eigentlichen Knochenstärke herausgestellt hätte.

Als man der Knochenstärke Beachtung zu schenken anfing, war man nicht einig darüber, an welcher Stelle des Metacarpus das Messband anzulegen sei. Einige hielten die Mitte der Röhre für entsprechend, andere zogen die Stelle „unterm Knie“ vor. Letzte Bezeichnung ist besonders ungenau, und so kam es, dass sogar dieselbe Person an demselben Pferde verschiedene Masse erhielt. Jetzt ist man glücklicher Weise wohl allgemein darin einig, dass der kleinste Umfang massgebend ist. Dies ist am einfachsten und am meisten zweckentsprechend. Auch ich habe mich bei meinen Untersuchungen danach gerichtet.

Die Entfernung des kleinsten Umfanges von der proximalen Gelenkfläche, in Prozenten der grössten Länge ausgedrückt, zeigt uns, dass die betreffende Stelle bei den

untersuchten Metacarpen in 20 Fällen = 37% der Gesamtheit in der Mitte, in 26 = 48% unterhalb und in 8 Fällen = 15% oberhalb derselben zu liegen kommt.

Der Umfang selbst schwankt absolut zwischen 9,37 cm (Nr. 30) und 16,13 cm (Nr. 21), in Prozenten der grössten Länge, also relativ, zwischen 39,04% (Nr. 3) und 60,89% (Nr. 21). Er ist demnach an starken Schienbeinen auch verhältnismässig weiter als an schwachen.

Bei dem bis jetzt besprochenen Umfang sind die Griffelbeine mit berücksichtigt worden. Um ihren Einfluss auf denselben zu erfahren, habe ich sie, wie im Abschnitt „Griffelbeine" bereits erwähnt, von der Röhre abgetrennt und an derselben Stelle, wie vorher, den Umfang des Metacarpus III gemessen.

Während dadurch der Umfang an den feinen Schienbeinen nur wenig verloren hat, — Nr. 3 nur 0,3 mm — sind seine Verluste an den plumpen weit empfindlicher — Nr. 21 2,07 cm. In Prozenten der grössten Länge beträgt der neue Umfang bei den beiden Metacarpen 38,91% (früher 39,04) bezw. 53,10% (vorher 60,89%). Bei Nr. 3 hat der Fortfall der Griffelbeine einen Verlust von 0,32% bewirkt. Nr. 21 hat dagegen 12,84% an Umfang dadurch eingebüsst. Es sind dies zwar extreme Fälle, aber in der Tat wird der Umfang der stärkeren Metacarpen im höheren Masse durch die Griffelbeine erweitert als an schwächeren. Daraus folgt weiter, dass mit der Zunahme der Knochenstärke unser Schluss auf den Querschnitt unsicherer wird.

In der Praxis wird von einigen die geringere, von anderen und wohl in der Mehrzahl die bedeutendere Knochenstärke bevorzugt. Jedoch ist die absolute Knochenstärke allein für die Beurteilung der Widerstandsfähigkeit wertlos, demnach auch das Streben nach dieser oder jener Richtung unbegründet. Man muss die Knochenstärke zu irgend einem Masse am Tiere ins Verhältnis setzen.

Für gewöhnlich nimmt man bei den Messungen die Widerristhöhe als Einheitsmass, doch ist ihre Beziehung zum Umfang für die Festigkeit der Röhre nicht massgebend.

Dagegen ist die Beinlänge im anatomischen Sinne[1]), wie ich weiter unten begründen werde, dazu am geeignetsten.

Graf Lehndorff verrechnet[2]) das Gewicht des Pferdes auf den Röhrenbeinumfang. Auf diese Weise findet er, dass 1000 Pfund Lebendgewicht im Mittel beim Kaltblut auf 16,6 cm, beim Halbblut auf 18,3 cm, beim Vollblut auf 19 cm Umfang kommen Die Unrichtigkeit dieses Verfahrens hat Lehndorff selbst eingesehen und später dahin richtig gestellt, dass man das Gewicht nicht auf den Umfang, sondern auf den Querschnitt verrechnen muss.

Das Gewicht wirkt nämlich auf die Fläche und nicht auf ihren Umfang. Erstere wächst schneller als der Umfang, deshalb darf letzterer nicht direkt für diese gesetzt werden.

Das Verhältnis von Umfang zum Inhalt ist ausserdem abhängig von der Form der betreffenden Figur und zwar ist es um so grösser, je mehr die Figur in die Länge gezogen ist. Ein Beispiel möge uns dies veranschaulichen: Ein Quadrat von 16 qcm Inhalt hat einen Umfang von 16 cm. Ein Rechteck von demselben Inhalt, dessen Länge 8 cm und dessen Breite 2 cm beträgt, misst im Umfange 20 cm. Diese Verhältnisse auf das Schienbein übertragen zeigen, dass wir, gleiche Wandstärke vorausgesetzt, trotz des bedeutenden Umfanges keine Garantie für mehr Flächeninhalt haben. Vergegenwärtigen wir uns, dass gerade die starken Metacarpen viel flacher gebaut sind als die feinen, dass ferner bei ersteren der Umfang durch die massigen und seitwärts stehenden Griffelbeine bedeutend in die Länge gezogen wird, so müssen wir zugeben, dass die dicken Schienbeine trotz ihres weiten Umfanges keinen grösseren Querschnitt, auf den es bei der Festigkeit lediglich ankommt, aufzuweisen brauchen. So hat Nr. 7 von 10,22 cm Umfang (ohne Griffelbeine) mit dem Achsenverhältnis 76,3 einen Inhalt von 760 qmm,

[1]) Bei den Messungen ist die Beinlänge die Differenz zwischen Widerristhöhe und Brusttiefe.

[2]) Handbuch für Pferdezüchter.

Nr. 17 von demselben Umfang, aber mit dem Achsenverhältnis 78,0, dagegen 772 qmm.

Mit dieser Beschreibung glaube ich ein ziemlich genaues Bild von dem verschiedenen Knochentypus gegeben zu haben. Die Unterschiede kommen in Gestalt, Bauart und Masse zum Vorschein. Die Metacarpen mit der bedeutenderen Knochenstärke sind, um noch einmal kurz zu wiederholen, einseitig ausgebildet. Die Ellipse ihres Querschnittes hat eine verhältnismässig grosse Excentricität, erscheint also langgezogen, die Knochenmasse ist ungleichmässig auf die Wandelemente verteilt. Dagegen kommt der Querschnitt der feineren Schienbeine dem Kreise nahe, ausserdem sind die Wände fast überall gleich stark. Vollkommene Form und allseitig gleichmässige Ausbildung gestatten allseitige Nutzung. Pferde mit schlanken Röhren können als Reit-, Wagen- und Lastpferde dienen, dagegen eignen sich die schweren Tiere nur als Lastpferde. Falls einseitige Nutzung verlangt wird, so leisten die starken Knochen gute Dienste, da einseitige Nutzungsrichtung einen höheren Grad von Leistungsfähigkeit bietet und leichter zu erzielen ist. Es soll aber damit nicht gesagt sein, — wozu die grössere Masse leicht Veranlassung geben könnte — dass die umfangreichen Schienbeine auch fester, kräftiger, widerstandsfähiger sind. Eine Analogie, welche mein hochverehrter Lehrer Herr Prof. Dr. Holdefleiss gelegentlich eines Vortrages im Naturwissenschaftlichen Verein brachte, gibt hierfür eine vortreffliche Erklärung. Herr Professor Holdefleiss zog eine Parallele zwischen den dorischen Säulen und den starken Röhren einerseits und den gothischen Säulen und den feinen Schienbeinen andererseits. Diese sowie jene vermögen trotz ihrer verschiedenen Masse und Stärke gleiche Lasten zu tragen, d. h. gleiche Arbeit verrichten, und dies infolge ihrer verschiedenen Form und Bauart. Ein gothischer Spitzbogen findet in den Lamellen der Spongiosa an feinen Knochen sein Ebenbild.

Wenn auch diese Analogie kein zwingender Beweis ist, so hat sie doch grosse Wahrscheinlichkeit für sich

und zeigt uns, dass Masse noch kein Mass für die Widerstandsfähigkeit bedeutet.

Soeben wurden die Röhrbeine als Säulen hingestellt, und in der Tat sind sie nichts anders wie lebendige Säulen. Deshalb müssen sie auch den für Säulen geltenden Gesetzen unterworfen sein. Es dürfte demnach von Interesse sein und das Verständnis für das Wachstum der verschiedenen Knochenformen erleichtern, in die statisch - mechanischen Gesetze an Säulen einen Einblick zu tun.

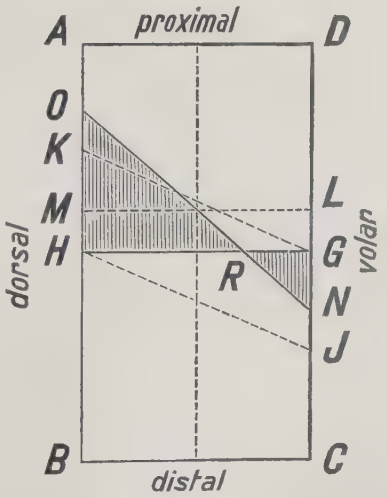
Jeder Knochen ist, wie einleitend bemerkt, ein festes und bis zu einem gewissen Grade elastisches Gebilde. Festigkeit nennt man den Widerstand, welchen ein Körper vermöge seiner Kohäsion der Lageveränderung seiner Teile durch Einwirkung einer äusseren Kraft entgegensetzt. Je nach der Art und Weise, in welcher die Trennung verursacht werden kann, unterscheidet man Zug-, Druck, Knick-, Biegungs-, Scheer- und Schubfestigkeit.

Auf dieselbe Art wie die Festigkeit, teilt man auch die zweite Eigenschaft der Knochen, die Elastizität, ein. Darunter verstehen wir das Vermögen eines Körpers, nach erlittener Formveränderung in seine ursprüngliche Gestalt zurückzukehren, sobald die Wirkung der formverändernden Kraft aufhört. Jenachdem der Körper ganz oder teilweise seine frühere Gestalt erreicht, sprechen wir von vollkommener und unvollkommener Elastizität. Die Kraft, welche auf eine Querschnittseinheit so einwirkt, dass sie eine Verdoppelung der Länge des Körpers bewirkt, falls dies möglich wäre, heisst Elastizitätsmodul.

Nach diesen für das Verständnis der folgenden Ausführungen notwendigen Erklärungen wollen wir die Vorgänge in einer Säule und speziell im Röhrbeine während der Ruhe und der Bewegung verfolgen, da sie für die Beurteilung der Trag- und Leistungsfähigkeit der Extremitätenknochen von grosser Bedeutuug sind.

Am besten veranschaulicht uns die Spannungsverhältnisse ein Längsschnitt A B C D durch eine Säule oder

Röhre. Auf diese soll ein Druck P in der Richtung A B ausgeübt werden. (Beim Pferde durch das Gewicht des Tieres und der von ihm gezogenen oder getragenen Last.) Derselbe pflanzt sich in den Trajektorien auf die untere Fläche B C fort, kann aber eine Verschiebung derselben nicht bewirken, da sie auf fester Unterlage ruht. Deshalb werden Punkte des Körpers von den Enden nach der Mitte gedrängt. Dieser Formveränderung setzt sich der Druckwiderstand oder die rückwirkende Spannung in der entgegengesetzten Richtung entgegen. (Vorwiegende Erscheinung bei der Ruhehaltung). Die spezifisch rückwirkende Spannung k_1 ist in jedem Querschnitt gleich dem Verhältnis des Druckes P zum Querschnitt F also $k_1 = \frac{P}{F}$. In der Zeichnung mögen die Strecken H M und G L ihre Grösse, und das Rechteck M H G L die totale rückwirkende Spannung darstellen.



Bei der Bewegung des Pferdes kann die Kraft P nicht mathematisch genau mit der Achse der Säule E F zusammenfallen, zumal letztere wegen der nicht absoluten Homogenität des Materials kaum eine genaue Grade sein wird. Die Säule oder das Röhrbein wird dadurch der Biegung unterworfen, die sich um so bemerklicher macht, je grösser das Verhältnis der Länge zum Durchmesser ist, und je schiefer P auffällt. Der Biegung setzt sich die relative Spannung k_2 entgegen. Auf der concaven Seite wirkt sie in derselben Richtung wie die rückwirkende Spannung, so dass die gesamte Spannung daselbst durch

$k = k_1 + k_2$ ausgedrückt ist. Auf der convexen Seite werden die Fasern gezogen, also tritt die relative Spannung als Zugkraft auf. In der graphischen Darstellung muss daher eine k_2 vorstellende Strecke auf der concaven Seite oberhalb von G H, auf der convexen unterhalb davon abgetragen werden. Macht man H K und G J = k_2 so stellt das Viereck K H J G die relative Spannung vor. Um die ganze Spannung $k_1 + k_2$ auf der concaven Seite zu erhalten, muss man H K um KO = H M = k_1, verlängern, dagegen wird durch k_1, = GL auf der convexen Seite ein gleiches Stück J N aufgehoben, so dass man eine Darstellung der totalen Spannung durch die Ordinaten der schraffierten Fläche N G R H O R erhält. Ist $k_2 < k_1$, so herrscht auf der convexen Seite ebenfalls Druck. Je grösser die relative oder je kleiner die rückwirkende Spannung wird, desto breiter wird die Druckregion auf der convexen Seite, desto näher rückt R an H.

Was bedeutet dies für das Röhrbein? Bekanntlich übt der Druck eine Reizwirkung auf die Osteoblasten aus. Diese entwickeln ihre Tätigkeit und setzen Knochenmasse an, der Markraum wird kleiner, die volare Wand stärker. (Funktionelle Anpassung nach Roux[1]).

Man könnte den Einwand erheben, dass auf die Schienbeine der schweren Pferde ein bedeutenderer Druck ausgeübt wird als auf die der leichten, deshalb müssten erstere eine stärkere Hinterwand aufweisen als letztere. Die Beobachtung zeigt aber das Gegenteil. Darauf ist zu entgegnen, dass, wie eben bemerkt, die Stärke der Hinterwand als Wirkung des Druckes anzusehen ist, der sich aus der Differenz zwischen der relativen und rückwirkenden Spannung ergibt, und dass sie zur Differenz im direkten Verhältnis steht. Gleiche Differenzen können resultieren, trotz verschiedenen Verhältnisses des Minuendus zum Subtrahendus. Wir müssen also untersuchen, welche Spannung, oder auf das Röhrbein übertragen, ob

[1]) Grundzüge der allgemeinen Anatomie, Reinke.

die Belastung oder die Durchbiegung die schwache Hinterwand an umfangreichen Knochen entstehen lässt. Wären beide Kräfte absolut gross, so müsste trotz der kleinen Differenz (Hinterwand) ihre Summe (Vorderwand) gross sein. Die dorsale Wand ist bekanntlich an umfangreichen Schienbeinen nicht stärker, als an feinen, also kann nur eine von den Kräften bedeutend sein. Da die Belastung (Subtrahendus) bei schweren Pferden grösser ist als bei leichten, so muss bei den ersteren die Durchbiegung (Minuendus) kleiner sein, um eine kleine Differenz (Wandstärke) zu ergeben. Mit anderen Worten: Der einflussreichste Faktor für die volare Wandstärke der Röhrbeine ist die Durchbiegung. Wie sehr die Beine der leichten Pferde der Durchbiegung ausgesetzt sind, sehen wir beim „gestreckten" Galopp, wo die vorderen Gliedmassen mit dem Rumpfe beinahe eine grade Linie bilden, wo die Belastung beinahe senkrecht zur Längsachse der Extremitäten fällt. Ein schweres Pferd kommt wohl nie in die Verlegenheit, einen Galopp zu riskieren; es geht meist im Schritt, und hierbei fällt die Richtung der Belastung mit der Achse der Vorderbeine beinahe zusammen, verursacht geringe Durchbiegung. Die Durchbiegung findet statt in der Richtung der Bewegung, also sagittal, die Hauptbelastung dagegen ruht in der transversalen Richtung, da die ganze Last im Brustgürtel hängt. Beide Druckkräfte üben einen Reiz auf die Osteoblasten aus, die darauf mit der Bildung von Knochensubstanz antworten. Jenachdem die Durchbiegung, wie bei den leichten Pferden, oder die Belastung, wie bei den schweren Pferden, hauptsächlich zum Ausdruck kommt, entwickelt sich die Röhre vornehmlich in sagittaler bezw. in transversaler Richtung sowohl in Bezug auf die Form wie auch auf die Wandstärke. Dieselbe Analogie, wie zwischen den Vorderröhren der leichten und schweren Pferde, herrscht auch zwischen den Vorder- und Hinterröhren an demselben Tiere. Die Hinterröhren nämlich zeigen einen kreisrunden Querschnitt. Die Tätigkeit der Hinterglied-

massen ist eine andere als die der vorderen, deshalb auch ihre veränderte Gestalt. „C'est la fonction qui forme l'organe." (Lamarck). Die Vorderextremitäten schaffen durch eigene Bewegung bei der durch die Beckengliedmassen erfolgten Verlegnng des Schwerpunktes neue Stützpunkte für den Körper. Die Hintergliedmassen geben den Impuls zur Bewegung. Zu dieser Funktion sind sie hervorragend geeignet durch ihre feste Verbindung mit dem Rumpfe, durch ihre Länge, Stärke und Winkelung. Beim Galopp — und da dieser nur bloss bei Laufpferden vorkommt, so kann man auch sagen bei leichten Pferden ähneln sich die Funktionen, also auch die Form der Vorder- und Hintergliedmassen. Beim Galopp schnellen die Schulterextremitäten den bereits schon schwebenden Rumpf noch höher empor und vorwärts, und erhöhen und verstärken den Schwung, in welchem sich der Rumpf befindet, die Beckengliedmassen fangen ebenfalls die Körperlast auf und schaffen neue Stützpunkte, kurz, die Funktionen greifen in einander.

In der Technik gibt man Balken, um ihre Biegung zu vermeiden, die Form von Bogen, und zwar ist der Bogen um so gekrümmter, je grösser die Druckbiegungsmöglichkeit.

Der Durchbiegung unterliegen, wie bereits erwähnt, die Gliedmassen bei den leichten Pferden mehr als bei schweren, und im Einklang damit sind auch ihre Spongiosabälkchen mehr gebogen als im Röhrenknochen der schweren Pferde.

Wir sehen also, dass sich die verschiedene Bauart, Form, Massenverteilung und Umfang der Knochentypen ganz wohl durch ihre Funktion erklären lassen.

Um den Einfluss der Entwicklung eines Schienbeines in der Richtung der Durchbiegung für die Festigkeit der Röhre zu sehen, wollen wir zu den Gesetzen der Statik und Mechanik zurückkehren.

Das höchste Gewicht P, das eine unter gewissen Bedingungen befestigte Säule tragen kann, wird durch

die Formel $P \cdot \left[\frac{\pi}{2l}\right]^2 \cdot W \cdot E$ ausgedrückt (J. Weissbach, Lehrbuch der Mechanik). π ist die bekannte Ludolfsche Zahl, l = Länge der Säule bezw. des Schienbeins, E ist der oben definierte Elastizitätsmodul. W wird Mass des Biegungsmomentes genannt, und man versteht darunter die Summe der Produkte aus den einzelnen Elementen des Querschnitts und den Quadraten der Entfernung von der neutralen Achse, so dass W aus den Abmessungen des Querschnitts eines Körpers bestimmt werden kann. Von der Grösse W hängt die Biegungs- oder relative Festigkeit des Körpers wesentlich ab.

Obige Formel zeigt uns zunächst, dass die Tragfähigkeit einer Röhre im umgekehrten Verhältnis steht zum Quadrate ihrer Länge, dass also die Knochenstärke allein für die Festigkeit der Röhre nicht massgebend ist, sondern, dass die Länge dabei eine wesentliche Rolle spielt.

Das Widerstandsmoment lautet für einen elliptischen Ring $\pi\left[\frac{a^3b - a^3_1 b_1}{4}\right]$ wobei a der Durchmesser der grösseren, a_1 der der kleineren Peripherie des Querschnitts in der Richtung der Durchbiegung, b bezw. b_1 die darauf senkrecht stehenden Durchmesser ausdrücken soll.

Es ergibt sich aus dieser Formel, von welcher Bedeutung es ist, wenn die kleinere Achse aussen möglichst gross, innen möglichst klein ist, Verhältnisse, die sich am Schienbein von kleinem Umfang finden. Jedes Plus kommt in der dritten Potenz zur Wirkung, demnach die grössere Widerstandsfähigkeit der feinen Metacarpen.

Dagegen könnte man einwenden, die schweren Pferde ziehen grössere Lasten, und es kommen viel seltener bei ihnen Knochenbrüche vor, ihre Knochen müssen also fester sein als die der leichten. Darauf wäre zu erwidern, dass das Fortschaffen einer grösseren Last an und für sich noch kein Massstab für die Knochenfestigkeit ist, es handelt sich noch darum, welche Strecke in der

Zeiteinheit zurückgelegt wird, also das Produkt aus Last und Geschwindigkeit ist die Arbeitsleistung, und diese ist der Massstab. Die öfteren Knochenbrüche bei den leichten Pferden sind dadurch zu erklären, dass sie während des Laufens nicht achten können, wohin sie treten und dadurch leicht einen Fehltritt tun. Beim Gallop kommen sie mit einem heftigen Aufprall auf die Erde, sodass hier die Stosskraft massgebend ist.

Aus der mechanischen Bedeutung der Entwickelung einer Röhre in sagittaler Richtung ergibt sich die praktische Folgerung, dass ein tiefes Schienbein, oder was dasselbe ist, eine breite Röhre von der Seite aus gesehen, vorteilhaft ist. Deshalb kommt meiner Ansicht nach die Festigkeit der Röhre in ihrem dem Breitenindex analog berechneten „Tiefenindex", wobei Tiefe die kleinste Breite in sagittaler Richtung bedeutet, einigermassen zum Ausdruck. Die so erhaltenen Zahlen schwanken an meinem Material zwischen 10,19 (Nr. 42) und 12,76 (Nr. 21), also viel weniger als die Breitenindexe, und die Metacarpen schwererer Pferde rangieren zahlenmässig unter den der leichten.

Ausser vom Reichtum und von der Verteilung der Masse hängt die Festigkeit eines Gebildes noch von seiner Zähigkeit ab.

Nehring, Samson u. a. glaubten ein Kriterium für die Festigkeit im spezifischen Gewicht zu finden, wobei sie voraussetzten, dass ein spezifisch schwererer Körper fester sein müsse. Sie benutzten zur Feststellung des spez. Gewichts ganze mit der grössten Vorsicht gesäuberte Schienbeine und fanden, dass die Röhren der leichten Pferde höheres Gewicht aufwiesen als die der schweren; daraus schlossen sie, dass die Knochen ersterer dichter, fester sind. Ist aber der Schluss einwandsfrei? Durchaus nicht! Intakte Röhren enthalten neben Knochenmasse noch Mark, zwei heterogene Substanzen, in mechanischer Verbindung, von verschiedenem spezifischen Gewicht. Das spez. Gewicht der Summe muss um so

kleiner sein, je mehr die spezifisch leichtere Substanz überwiegt. Letzteres ist bei schweren Pferden der Fall, wie der grössere Markraum zeigt, und dadurch haben wir das geringere spez. Gewicht ihrer Röhren zu erklären, oder umgekehrt das geringere spez. Gewicht lässt auf ein grösseres Verhältnis von Markraum zur Knochenmasse schliessen.

Meine Untersuchungen über das spez. Gewicht erstrecken sich auf die Knochenmasse allein. Zu diesem Zwecke habe ich aus der Mitte der Diaphysen Knochenringe herausgeschnitten, deren Höhe in einem bestimmten Verhältnis $\left[\frac{1}{20}\right]$ zur Länge der Röhre stand. Die Knochenstücke wurden mit der grössten Sorgfalt von etwaigen, infolge des Sägens anhaftenden Splittern und von Mark gesäubert und in der Luft gewogen. Sodann habe ich sie nochmals unter destilliertem Wasser von 15° C an einem Haare hängend gewogen und den Gewichtsverlust berechnet, der dem verdrängten Wasser oder Knochenvolumen gleicht, wenn man statt Gramm Kubikcentimeter setzt. Bei Division des ursprünglichen Gewichtes durch das Volumen erhielt ich das spez. Gewicht eines jeden Metacarpus.

Bei diesem Verfahren stellte sich der Uebelstand ein, dass die Luft, welche sich in der Knochenmasse befand, durch das Wasser erst allmählich und nie vollständig verdrängt wurde. Dadurch konnte ich schwer Gewichtskonstanz erhalten, und selbst, wenn diese eingetreten war, hatte ich keine Sicherheit, dass der Knochen wirklich keine Lufträume mehr enthielt. Ich sah mich deshalb veranlasst, vor der zweiten Wägung die Luft aus den Knochenstücken auszupumpen.

Zu diesem Zwecke legte ich einige vorher gewogene Stücke in eine flache Schale mit Wasser, so dass sie in demselben völlig untergetaucht waren. Sodann brachte ich die Schale unter den Rezipienten und setzte die Luftpumpe in Tätigkeit. Sicheres Zeichen, dass die Knochenringe keine Luft mehr enthielten, war das Ausbleiben von

Luftblasen, die bei den ersten Kolbenzügen besonders heftig aufperlten.

Dieses Verfahren verursachte ein verhältnismässig hohes Steigen des vorherigen spezifischen Gewichts. Vor dem Auspumpen lag es, durchweg unter 2, nachher stieg es darüber. Es schwankte von 2,010 (Nr. 7) bis zu 2,119 (Nr. 19), also ganz gering, nämlich nur um 0,109. Diese kleine Differenz besteht auch zwischen Knochenstücken desselben Metacarpus, die aber verschiedenen Stellen entnommen sind. Das spez. Gewicht eines Knochenringes, wie oben beschrieben, betrug 2,029. Sodann teilte ich dieses Stück durch einen Schnitt parallel zum Markraum in zwei Ringe. Der innere zeigte ein spez. Gewicht von 2,095, der äussere ein solches von 1,992 Differenz 0,103. So oft ich diese Teilung mit andereu Metacarpen vornahm, trat immer dieselbe Erscheinung hervor. An der eben erwähnten Röhre untersuchte ich auch das spez. Gewicht eines vom distalen Ende abgesägten Stückes und fand 1,927, also auch weniger, wie am Mittelstück und zwar um 0,102. Wenn auch die Unterschiede an anderen Schienbeinen nicht so scharf hervortreten, was ja auch schon von der Proportion der Stärke des Innen- und Aussenringes abhängt, so hat es sich doch herausgestellt, dass das spez. Gewicht des Aussenringes und der Endstücke immer niedriger war als das des mittleren Innenringes. In dem erwähnten Falle betrugen die Schwankungen an derselben Röhre ebensoviel, wie zwischen den sämtlichen Mittelstücken. Diese Tatsache lässt darauf schliessen, dass zwischen Rasse und Umfang einerseits und dem spez. Gewicht andererseits keine Beziehungen herrschen, was ein Ueberblick der Haupttabelle bestätigt.

Es hat den Anschein, als ob das Alter für das spez. Gewicht bestimmend wäre, da das spez. leichteste Stück dem Schienbein eines anderthalbjährigen Fohlens entnommen ist, das spez. schwerste einem 16 Jahre alten Tiere angehört. Auch ist die äussere Knochenmasse

jünger als die innere. Doch die übrigen Zahlen lassen keine gänzliche Uebereinstimmung erkennen. Auch die Vermutung liegt nicht fern, ja die Möglichkeit ist sogar höchst wahrscheinlich, dass die Tätigkeit des Tieres während seines Lebens für die Dichte seiner Knochen entscheidend ist. Darüber kann ich leider nichts Positives angeben, da mir über die Leistung der untersuchten Pferde nichts bekannt ist. Bestände aber wirklich ein greifbarer, einseitig in grader Linie fortschreitender Zusammenhang zwischen Festigkeit und spez. Gewicht der Knochen, selbst wenn die Unterschiede bedeutender hervortreten sollten?

Wir wollen überlegen. Ein Knochen ist, wie bereits gesagt, eine Verbindung von anorganischen und organischen Bestandteilen. Organische Substanzen sind in diesem Falle leichter als anorganische, demnach bewirken erstere ein Sinken des spez. Gewichtes und zwar um so mehr, je reichlicher sie vorhanden sind. Wir wissen aber, dass ein grosses wie auch ein geringes Verhältnis dieser Substanzen nicht vorteilhaft ist, somit auch weder ein niedriges noch hohes spez. Gewicht der Knochenmasse. Demnach dürfen wohl auch die spezifisch leichtesten wie auch schwersten Knochen grade nicht die festesten sein.

Dass ein festes Gebilde nicht zugleich spez. schwerer zu sein braucht, glaube ich aus folgender Tatsache schliessen zu dürfen. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass Elfenbein fester ist als Pferdeknochen und dieser wiederum fester als Ochsenknochen (Hoffmann, Berliner Tierärztl. Wochenschrift). Elfenbein hat wie v. Lommel (Experimentalphysik) angibt, das spez. Gewicht 1,92, ich persönlich habe ein solches von 1,866 gefunden. Nach Gass (Logarithmentafel) beträgt das spez. Gewicht eines Ochsenröhrenknochens 1,66 m, eine Feststellung zeigt 2,237. Der Unterschied ist damit zu erklären, dass 1,66 das spez. Gewicht der ganzen Röhre mit Mark, nicht der Knochenmasse allein ist.

Kraemer ist der Ansicht, dass die lockere Knochenstruktur vom Fettgehalt abhängig sei. Er äussert darüber

in D.L.T, 1906 No. 3. „Das Fett ist es, das die voluminösen Metacarpen durchsetzt, das sich in grossen Mengen nicht nur im Markraum und in der Spongiosa, sondern selbst in den Wänden der Kompakta ansammelt, und damit den lockeren Bau der Knochen bedingt. Das Fett ist es also, das die Stukturunterschiede veranlasst, die ich durch die Bilder als tatsächlich vorhanden bewiesen habe."

Die Bilder haben durch den Abdruck so gelitten, dass man garnicht ersehen kann, was sie zeigen sollen. Am Vollblutknochen erkennt man zwar in den kleinen schwarzen Punkten die Havers'schen Kanälchen in geringer Vergrösserung. Diese verwischen sich aber mit dem Uebergange zum Kaltblut immer mehr, es treten unregelmässige dunkle Striemen und Flecke auf, die man für Fettüberzug halten könnte. Beim Holsteiner sieht man neben dunklen auch helle Flecken, die sich wie Löcher darstellen. Ohne Erklärung lassen sich eben die Bilder nicht lesen.

Um etwaige Strukturunterschiede in der Knochenmasse bei meinem Material beobachten zu können, habe ich mir mikroskopische Präparate angefertigt Zu diesem Zwecke habe ich in der Mitte der Diaphysen einen Schnitt senkrecht zur Knochenachse gelegt und die Schnittfläche mit Feile und Glaspapier geglättet. Sodann legte ich in sehr geringer Entfernung eine zweite der ersten parallele Schnittebene, sodass eine dünne Knochenscheibe abgesägt wurde. Diese habe ich mit Glaspapier glattgerieben und auf einem feinen Abziehstein bis zum Durchscheinen papierdünn geschliffen und mittels Wildleder und Schlemmkreide poliert. Schliesslich wurde das Präparat in Canadabalsam eingebettet, wodurch es an Durchsichtigkeit gewann. Die fertigen Präparate habe ich bei verschieder Vergrösserung bis 800 unter dem Miskroskope betrachtet und einige bei 80facher Vergrösserung photographiert. Unter dem Mikroskope fällt uns zunächst eine Anzahl von runden oder ovalen Figuren auf, es sind dies die Querschnitte der Havers'schen Kanälchen, die oft reihenförmig angeordnet

sind. Hin und wieder ist ihre Verbindung mit einander durch eine Verästelung, welche grade in der Schnittebene lag, sichtbar. Rings um einen Kanal gruppieren sich in 3—6 koncentrischen Kreisen oder Ellipsen ganz winzige gerstenkornähnliche Flecke, die Knochenkörperchen, und zwar stehen diese regelmässig mit ihren Längsachsen parallel zur Peripherie der zugehörigen Lamellen. Die Speziallamellen treten weniger deutlich als hellere und dunklere Kreise wie Jahresringe am Baume auf, die einzelnen Lamallensysteme scheiden sich von einander scharf ab.

Zuweilen ist auch bei einer bestimmten Einstellung des Beleuchtungsapparates am Mikroskop die radiäre Querstreifung sichtbar. Zwischen den Grundlamellen schlängeln sich die Schaltlamellen dahin. Ihre Knochenkörperchen scheinen grösser zu sein und dichter zu liegen.

Die Kanälchenquerschnitte sind untereinander an manchen Metacarpen gleich gross, an anderen ausserordentlich verschieden. Noch wesentlicher sind die Unterschiede in ihrer Grösse, wenn man die Schliffe einander gegenüberstellt. Auch ihre Anzahl auf derselben Fläche schwankt sehr, etwa zwischen 30 und 55 und steht zu ihrer Grösse in keinem Verhältnis. Ebenfalls kann man keinen Zusammenhang finden zwischen Rasse oder Knochenstärke einerseits und Grösse oder Zahl der Kanälchen anderseits. Aus diesem Grunde habe ich die Mikrophotogramme nicht mitdrucken lassen. Vielleicht könnte man bei leichten Pferden enge, bei schweren weite Kanälchen vermuten, da letztere die Stuktur lockern. Dem könnte man gegenüberhalten, dass grössere Kanälchen für reichlichere Nahrungszufuhr sorgen und auf diese Weise den Schaden gut machen. Ich habe den Eindruck empfangen, als ob die Grösse der Kanälchen mit dem Alter zunehmen möchte. Ganz deutlich tritt dies nicht hervor, namentlich Nr. 50 mit 9 Jahren stört die Uebereinstimmung. Die Möglichkeit eines Zusammenhanges zwischen Alter und Grösse der Kanälchen wäre wohl nicht ganz von der Hand zu weisen, da der Markraum ebenfalls mit dem Alter zunimmt, und zwischen

der Röhre und einem Lamellensystem herrscht grosse Aehnlichkeit. Ein Lamellensystem sieht auf dem Querschnitte ebenso aus, wie ein Röhrenknochen im kleinen. Der Markraum entspricht den Kanälchen, die Lamellen der Knochenmasse. Letztere zeigt namentlich am Rande makroskopisch ringförmige Anordnung wie erstere mikroskopisch.

Löcher in der Compacta konnte ich trotz Entkalkung und Färbung des Präparates nicht wahrnehmen. Auch Fettkügelchen waren, obgleich ich die Präparate mit Osmiumsäure und Alkannin darauf prüfte, nirgends sichtbar, da es selbstverständlich ist, dass durch die mechanische Arbeit bei Anfertigung der Schliffe etwa vorhandenes Fett entfernt wurde. Aber selbst wenn es hätte gesehen werden können, so hat man doch keine Bürgschaft dafür, dass es der Stelle, an der es liegt, eigentümlich ist.

Kraemer (l. c.) stellt noch die Hypothese auf, „dass die gewaltige Fettanhäufung im Markraume des Knochens rein mechanisch die Wände durch Druck auseinander treibt.“ Bei mir kann dieselbe keinen Anklang finden, denn die Natur wird sich selbst nicht schädigen wollen. Ein Ueberdruck würde eher die feinen Blutgefässe im Mark zerstören und unter Vernichtung der Blutbahnen sich selbst durch die foramina nutrientia herauspressen, als die Knochenwand auseinandertreiben. Eine Verhinderung der Nährstoffzufuhr würde die Röhre zum Absterben bringen. Falls das Fett dem Schienbein etwa zum Nachteil gereichen sollte, so würde es überhaupt fehlen, wie in Geflügelknochen.

Nach Hyrtl[1]) „scheint die Fettablagerung im Knochen keinem weiteren physiologischen Zweck zu entsprechen, als an allen andern disponiblen Orten, wo Fett bei Nahrungsüberschuss als nutzloser organischer Ballast deponiert wird.“ So fand ich auch wirklich an manchen Metacarpen

[1]) Anatomie.

am proximalen Ende zwischen den Griffelbeinen unter dem Gleichbeinband Fett abgelagert, ein Beweis dafür, dass eine Ueberfüllung des Markraumes kaum zu befürchten ist. Einige Röhren barsten zwar mit der Zeit; der Spalt erstreckte sich bloss auf die Diaphyse — die Ephisen blieben ganz — und klaffte in der Mitte am stärksten. Diese Erscheinung suche ich mir damit zu erklären, dass auf die Röhre vom Periost und der anwachsenden Knochensubstanz ein Druck ausgeübt wird, wie von der Rinde auf das Holz eines Baumes, welchem Drucke der Knochen durch innere Spannung das Gleichgewicht zu halten sucht. Hört der Assendruck durch Entfernung des Periots auf, so kommen die inneren Spannungen zur Wirkung. Diese Beobachtung macht man auch an Fischen, die in grossen Meerestiefen leben und deshalb auf starken Druck des Wassers geeicht sind, dass sie an die Oberfläche gebracht, platzen.

Unbestreitbar durchsetzt das Fett die Compacta der voluminösen Metacarpen in höherem Masse als die der feinen, aber deshalb wird die Compacta nicht lockerer, wie Kraemer meint, sondern weil sie lockerer ist, deshalb kann sie mehr Fett aufnehmen. Der Fettreichtum ist eine sekundäre Erscheinung und zeigt bloss die lockere Struktur an, ist ein Indikator dafür.

In der Tat sind die starken Röhren am lockersten und fettreichsten, wie ich mich überzeugt habe.

Die breiten Metacarpen fingen kurz nachdem ich sie gesäubert hatte, zu „schwitzen“ an, und diejenigen, welche von Belgiern herrührten, sahen nach 2 bis 3 Tagen wie geölt aus und nahmen eine rötlich matte Farbe an. So oft man das Fett abwischte, perlte es sofort hervor. An weniger starken Schienbeinen kam das Fett viel später zum Vorschein, und bei feinen blieb der Fettüberzug überhaupt aus, die Knochen blieben weiss. Dieser Umstand ist es wohl, welcher ihnen ein elfenbeinartiges Aussehen verleiht. Man hätte meinen sollen, dass das Fett ranzig geworden und daher die Compacta nicht passieren konnte,

aber nein. Nachdem ich mehrere Wochen später die Röhren geöffnet hatte, war aus den starken das Mark bereits verschwunden, während es in den feinen gesund im flüssigen Zustande erhalten blieb. Also nur die Dichtigkeit der Compacta hat seinen Durchtritt verhindern können. Er traf sich aber an schwächeren Schienbeinen, dass die den Markraum umgebende Knochenmasse durchfettet war, und zwar nahm die Fettzone mit der Knochenstärke zu.

Die lockere Strucktur der starken Schienbeine macht sich noch auf eine andere Weise bemerkbar. Ich habe, wie gesagt, alle Knochen mit einer Laubsäge zerschnitten. Dabei fiel mir auf, dass die umfangreichen Röhrbeine diese Operation sich leichter gefallen liessen, als die feinen. Der Unterschied in der Empfindung beim Zersägen von Kalt- und Warmblutknochen ist etwa derselbe, der sich beim Sägen vom trockenen Kiefern- und kernigen Eichenholz fühlbar macht. Man könnte meinen, dies wäre eine subjektive Wahrnehmung, die auf Täuschung beruhen und durch Voreingenommenheit hervorgerufen sein könnte. Doch hat mir die verschiedene Widerstandsfähigkeit der Knochen der Institutsdiener, dem es oblag, die Knochen zu zerstampfen, ohne mein etwaiges Befragen bestätigt. Er äusserte darüber, dass er viel lieber „fette“ Knochen stampfe als magere. Erstere sprängen beim ersten Schlage in Splitter, letztere liessen erst nach wiederholten Anstrengungen nach und zwar „faserten“ sie, d. h. behielten zunächst ihre ursprüngliche Länge bei.

Die grössere Lockerheit der umfangreicheren Schienbeine lässt sich vermöge ihrer grösseren Fettcapacität nicht nur makroskopisch, sondern auch analytisch nachweisen.

Ich habe zu diesem Zwecke beide Vordermetacarpen eines leichten und eines schweren Pferdes gleich nach dem Schlachten gesäubert und jeden linken sofort auf Fett untersucht, an den rechten habe ich nach 6 wöchentlichem Lagern eine Fettuntersuchung vorgenommen. Die frisch untersuchten Schienbeine wiesen einen Fettgehalt

von 1,42% beim Warmblut, 2,64% beim Kaltblut auf. Die Zahlen zeigen, da hier von einer Fettaufnahme aus dem Markraum nicht die Rede sein kann, dass schon an und für sich die Röhrbeine von leichten Pferden fettärmer sind als die von schweren. Eine Untersuchung der gelagerten Knochen zeigte eine Steigerung des Fettgehaltes beim ersteren auf 2,13% beim letzteren auf 5,89%.

Während also die Fettzunahme am schwachen Schienbein rund 50% des ursprünglichen Fettgehaltes betrug, ist sie beim starken auf 123% gestiegen, also ein ausserordentlich grosser Unterschied.

Vielleicht konnte man eine einzelne Analyse nicht für beweiskräftig ansehen, doch soll sie nur als Bestätigung der makroskopisch beobachteten Tatsache dienen.

Ausser dieser Vergleichsanalyse wurden noch 18 andere ausgeführt. Für die Auswahl des Materials war die Rasse, der Breitenindex und das Alter bestimmend.

Zur chemischen Untersuchung wurden von den präparierten Schienbeinen Zylinder aus der Mitte herausgeschnitten. Das im Innern derselben befindliche Mark und Fett habe ich möglichst sauber entfernt, da es für die vorliegende Arbeit von keiner Bedeutung war. Die Knochenstücke wurden zum Teil erst vorgetrocknet, zum Teil sofort in einem Möser zerstampft; durch Mahlen oder Feilen durfte die Zerkleinerung nicht vorgenommen werden, um Verlusten des Fettes durch Verschmieren an den Werkzeugen vorzubeugen.

Das beim Vortrocknen herauslaufende Fett wurde für sich mit Aether aufgenommen und nach Verdampfung des letzteren gewogen.

Ein Teil der zerkleinerten Substanz wurde in Wägegläschen bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, und aus dem Gewichtverlust der Wassergehalt berechnet.

Ein weiterer Teil der gepulverten Knochensubtanz wurde in vorgetrockneten Extraktionshülsen und mit diesen in Kölbchen bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Beim Trocknen lief etwas Fett aus den Proben heraus.

welches von Hülsen aufgesogen wurde oder sich am Boden der Kölbchen ansammelte, die dann zur Aufnahme des zu verdampfenden Aethers bei der Extracktion benutzt wurden, so dass keine Spur von Fett verloren gehen konnte, ohne dass man das vorher ausgelaufene Fett besonders für sich hätte bestimmen brauchen.

Ein dritter Teil wurde in Platinschälchen verbrannt. Aus dem Gewichtsverlust wurde nach Abzug des Wassers und Fettes der Gehalt an fettfreier organischer Trockensubstanz ermittelt, während die anorganische Trockensubstanz als Achse zurückblieb.

Die Untersuchungsresultate finden sich in folgender Tabelle.

Lfd.	100 Teile lufttrockene Knochenmasse enthalten				Reihenfolge nach		100 Teile wasserfreie Knochenmasse enthalten				Alter
	Knochenerde %	Fett %	Wasser %	Fettfr. org. Subst. %	Fettgehalt	Breitenindex	Fett %	Knochenerde %	Fettfr. org. Subst. %	Verhältnis	
17a	70.72	0.47	6.70	22.11			0.50	75 80	23.70	3.20	10
13	67.18	2.01	7 58	23.23	1	5	2.20	72.70	25.10	2.90	6
19	63.20	2.25	6.98	27.57	2	6	2 42	67 94	29.64	2.29	16
9	62.47	2.26	7.20	28.07	3	2	2.44	67.31	30 25	2.23	9
2	66.08	2.45	8 40	23.07	4	1	2.68	72.14	25.18	2.87	16
47	62.28	2.53	6 87	28.32	5	4	2 72	66 88	30.40	2 20	17
36	63.68	2.79	4.77	28.76	6	8	2 93	66 86	30.21	2.21	10
40	62 31	2.75	8 45	26 49	8	7	3.00	68 06	28.94	2.35	10
11	65 24	3.04	6.43	25.29	8	10	3.25	69 72	27.03	2 58	12
7	60.05	3 11	6 78	30.06			3.33	64 42	32.25	1 99	2
24	62.35	3.27	6.85	27.53	9	3	3.51	66.94	29 55	2.26	4
50	63 63	3 26	8.03	25.08	10	9	3 55	69 18	27 27	2.54	9
14	65.70	4.03	7.33	22.94	11	12	4.35	70.90	24.75	2.87	6
5	61.00	4.40	6 04	28.56	12	11	4 68	64.92	30.40	2 14	10
4	63.58	4.67	6.62	25.13	13	13	5.00	68 08	26 92	2 53	8
52	62 20	4.71	6 54	26.55	14	14	5.04	66 56	28 40	2 34	?
21	61.86	5.19	7 19	25.76	15	16	5.59	66 66	27.75	2.40	11
53	62.33	5 89	5 94	25 84	16	15	6 26	66 26	27.48	2 41	10
Pferd	48.27	15 76	13 12	22.85			18 14	55 56	26 30	2 11	
Rind	55.10	13 44	8 85	22 61			14.74	60 45	24 81	2 44	
Schwein	34 86	24 86	10 45	29 83			27.76	38 93	33 31	1.17	

Die drei letzten Analysen sind dem Buche „Das Knochenmehl“ von Prof. Holdefleiss entnommen. Dass die Zahlen für den Fettgehalt wesentlich höher sind, als bei meinen Untersuchungen, fällt damit zusammen, dass dort die Knochen inklusive Markinhalt untersucht worden sind.

Der Gehalt an Wasser schwankt zwischen 4,77% (Nr. 36) und 8,45% (Nr. 40) weicht, also erheblich von dem von Herrn Prof. Holdefleiss gefundenen Resultaten 13, 12% ab. Diese Abweichung von den früheren und verhältnismässig geringe Schwankung bei meinen Analysen lässt sich dadurch erklären, dass das Material gesäubert mehrere Wochen bei Zimmertemperatur lag, wodurch es mehr oder weniger lufttrocken wurde.

Stärker als der Wassergehalt schwankt verhältnismässig der Fettgehalt. Jedoch ist das gefundene Fett nicht das den ganz frischen Knochen eigentümliche, sondern zu diesem ist etwas Fett aus der Markhöhle während des Lagerns je nach der Beschaffenheit der Knochenmasse in kleinerem oder grösserem Masse hinzugetreten. Der bedeutende Unterschied zwischen diesem und dem von Herrn Prof. Holdefleiss festgestellten Fettgehalt ist dadurch zu erklären, dass im letzteren Falle sämtliches Fett bei der Bestimmung in Frage kam.

Infolge der erheblichen Schwankungen des Wasser- und Fettgehalts schwankt auch der Gehalt an fettfreier Trockensubstanz.

Diese besteht aus Mineralstoffen und fettfreier organischer Substanz.

Als Mineralsubstanz ist das anzusehen, was nach dem vollständigen Verglimmen der Knochen zurückbleibt, obgleich der Gehalt an Mineralstoffen um so viel niedriger ist, als der Betrag der durchs Glühen ausgetriebenen Kohlensäure ausmacht.

Unter fettfreier organischer Substanz muss man hier nicht nur die dem eigentlichen Knochengewebe eigentüm-

liche Substanz verstehen, sondern noch Gefässe, Nerven und Fasern, die den Knochen durchkreuzen, sich von ihm aber nicht trennen lassen. Doch ihre unbedeutende Menge kann man als dem Knochen zugehörig betrachten, da sie nur sehr wenig ins Gewicht fällt. Da der Wassergehalt der Knochen für uns bedeutungslos ist, habe ich die übrigen Bestandteile auf wasserfreie Trockensubstanz umgerechnet.

Mit Ausnahme von Nr. 7 und 17 schwankt in dieser Zusammenstellung der Fettgehalt zwischen 2,20 % (Nr. 13) und 6,26 % (Nr. 53), die Achse von 64,92 (Nr. 5) bis 72,70 % (Nr. 13) die fettfreie organische Trockensubstanz zwischen 24,75 % (Nr. 14) und 30,40 % (Nr. 5 und 47).

Ordnen wir die Metacarpen einerseits nach dem Fettgehalt, anderseits nach dem Breitenindex, so sehen wir, dass die Zahlen sich ziemlich decken, dass mit Zunahme des Breitenindex der Fettgehalt sich steigert. Da das Fett wie oben bemerkt, als Indikator für die Lockerheit der Knochenstruktur anzusehen ist, so ergibt sich daraus, dass mit dem Breitenindex die Lockerheit der Knochenmasse zunimmt. Den grössten Breitenindex haben die schweren Pferde, somit auch die lockerste Knochenstruktur.

Für die Auswahl der zu untersuchenden Knochen war auch das Alter der Individuen massgebend. Ich nahm nämlich an, dass mit dem Alter das Verhältnis der Knochenasche zur fettfreien organischen Trockensubstanz zunehmen würde. Doch meine Vermutung hat sich nicht bestätigt, wie die Verhältniszahlen zeigen. Ich habe sie dadurch erhalten, dass ich die fettfreie organische Trockensubstanz in die Knochenerde dividierte. Sogar bei gleichaltrigen Tieren von derselben Rasse stehen die Substanzen nicht in demselben Verhältnis. Nur das eine scheint mit Sicherheit hervorzugehen, dass bei nicht ausgewachsenen Knochen (Nr. 7) das Verhältnis ein enges (1 : 1,99) bei kranken (Nr. 17 Exostose) ein weites 1 : 3,20 ist.

Auf die Zusammensetzung der Knochenerde gehe ich nicht weiter ein, da sie den Gegenstand einer andern Arbeit bildet.

Meine Untersuchungen halte ich für abgeschlossen.

Man könnte fragen, ob geringere oder grössere Knochenstärke den Vorzug verdient, mit anderen Worten: ob ein starkes Schienbein tauglicher ist als ein feines. Gleiche Verhältnisse vorausgesetzt müsste man sich für's erstere erklären. Diese Voraussetzung können wir aber nicht machen, denn vorliegende Untersuchungen haben gezeigt:

1) Grössere Knochenstärke wird in höherem Masse beeinflusst als geringere durch:

a) verhältnismässig stärkere Griffelbeine und ihre mehr seitliche Stellung an der Röhre,

b) durch die längliche Form des Röhrenquerschnitts.

2) Je grösser der Umfang, desto verhältnismässig dünner die Knochenwände.

3) Je grösser der Umfang, desto poröser die Knochenmasse.

4) Je grösser der Umfang, desto flacher der Metacarpus.

Sehr wahrscheinlich fallen bei Feststellung des Umfanges die Haut und Sehnen bei grösserer Knochenstärke mehr ins Gewicht als bei geringerer.

Also je grösser der Umfang, desto unsicherer der Schluss auf den Inhalt des Knochenquerschnitts, auf den es allein ankommt.

Es wäre noch zu fragen, wodurch die grössere Porosität anatomisch bedingt wird.

Die Havers'schen Kanälchen, an die man in erster Linie denken könnte, bieten uns keinen sicheren Anhalt. Es kämen demnach die Knochenkörperchen inbetracht. Doch haben mich mechanische Schwierigkeiten verhindert, Vergleichsmessungen vorzunehmen. Man müsste die Knochenkörperchen in ihrem grössten Querschnitt messen.

Es ist aber unmöglich, durch eine ansehnliche Anzahl von Knochenkörperchen die grössten Querschnitte zu legen, ja oft kann man mit Sicherheit nicht beurteilen, ob man grade den grössten Querschnitt unter dem Mikroskope hat. Wäre selbst dies der Fall, so müsste man noch einen zweiten grössten Querschnitt senkrecht zum ersten betrachten, um auch die Tiefe des Körperchens zu erfahren. Falls Schätzungen Wert beizumessen ist, so ist mir aufgefallen, dass stärkere Knochen mehr und grössere Knochenkörperchen enthalten als schwächere.

Aus meinen Ausführungen soll nicht der Schluss gezogen werden, als ob ein starkes Schien, soweit es nicht künstlich hervorgebracht wurde, zu verdammen wäre. Man muss stets im Auge behalten, dass die Tätigkeit die Form mit sich bringt, und zwar ist die längliche Form und somit der grössere Umfang den Schrittpferden, die rundliche den Laufpferden eigentümlich.

Es ist daher nicht richtig, alle Tiere nach derselben Schablone, was leider zu oft vorkommt, beurteilen zu wollen, und durchweg ein starkes Schienbein zu verlangen, ebenso wie es falsch ist, überall ein feines Schienbein zu fordern. Es ist derselbe Fehler, den man machen würde, falls man vom Lastpferde die schnelle Bewegung eines Reitpferdes verlangen möchte, und daran denkt doch niemand.

Wie nachteilig es ist, Tiere unzweckmässig zu verwenden, oder was dasselbe ist, von Tieren nicht zweckentsprechende Organe zu fordern, also beim Laufpferde die Röhre eines Schrittpferdes, zeigen Zuntz und Hagemann[1]) „Praktische Folgerungen aus den am Arbeitspferde ausgeführten Stoffwechselprodukten.“

„Ein Ackerpferd zeigt bei horizontaler Vorwärtsbewegung für 1 m und 1 kg Lebendgewicht einen Nährstoffmehrverbrauch, der 0,374 Calorien entspricht, als bei

[1]) Nachrichten aus dem Klub der Landwirte.

voller Ruhe, ein Kavalleriepferd 0,4 Calorien; es ist deshalb nnd zwar vornehmlich zufolge seiner besonderen mechanischen Körperbauverhältnisse und abgesehen von Temperamentsverschiedenheiten für den Schrittdienst weniger ökonomisch. Beim Uebergang zum Trab erfolgte eine sprungartige Zunahme des Energieverbrauches und zwar beim Kavalleriepferde nur um 26 % beim Zugpferde um 50 %. Zugpferde bedingen bei Geschwindigkeitsleistungen einen relativ und absolut gesteigerten Kräfteverbrauch. Für Tragleistung erwies sich das Reitpferd ebenfalls für besser geeignet; es konnte bei ruhigem Stehen ohne Mehrverbrauch 90 kg tragen, während das Ackerpferd für jedes Kilo aufgelegter Last ebensoviel verbrauchte, wie für 1 kg Körpergewicht. Auch bei der Bewegung verbrauchte das Zugpferd für 1 kg Traglast ebensoviel mehr, wie für ein Kilo Körpergewicht, dagegen das Reittier mit 90 kg belastet nur 4 % mehr, als wenn es sich ohne Belastung fortbewegte."

Ich habe eine experimentelle Prüfung der Biegungs- und Knickfestigkeit der Knochen unterlassen, da die Aufgabe der vorliegenden Arbeit zunächst darin liegen sollte, eine Untersuchung der allgemeinen Formverhältnisse bei den Metacarpen vorzunehmen. Jene experimentelle Prüfung würde Gegenstand einer weiteren noch umfangreicheren Arbeit geworden sein. Sie ist ja auch durch die schon erwähnte Wolter'sche Arbeit versucht worden, ohne dass auch hierdurch die Frage zu einem endgültigen Abschluss gekommen wäre. Die Verhältnisse in dieser Richtung liegen so kompliziert, dass sie das Ziel noch mancher Spezialarbeiten werden sein müssen. Hierbei wäre besonders die Frage zu entscheiden, ob man das Schienbein auf Biegungs- oder Knickfestigkeit prüfen sollte. Bei der ersten Operation ruht das Bein horizontal mit seinen beiden Enden anf je einer Unterlage, und der Druck wird in der Mitte senkrecht auf die Längsachse ausgeübt, bei der zweiten ist es zwischen Bolzen mit den Enden eingespannt, und die Druckrichtung fällt mit der

Längsachse des Knochens zusammen. In der Natur hat man sowohl mit der Biegungs- wie auch mit der Knickfestigkeit zu rechnen. Eine Trennung dieser Eigenschaften, die bei maschineller Manipulation unvermeidlich ist, liefert keine richtigen Resultate. Leichter ist die Prüfung auf Biegungsfestigkeit, jedoch kommen dabei die Bögen der Spongiosa äusserst wenig oder garnicht zur Wirkung, was ein zu kleines Resultat nach sich zieht. Bei der Prüfung auf Knickfestigkeit bietet die Einspannung des Knochens grosse Schwierigkeiten. Hoffmann (l. c.) hat daher die Epiphysen senkrecht zur Längsachse des Knochens abgesägt, um ebene Druckflächen zu schaffen. Dazu ist zu bemerken, dass dadurch die Wirkung der Spongiosabälkchen fortfiel. Kraemer (l. c.) hat ganze Metacarpen auf Knickfestigkeit untersucht. Dagegen ist einzuwenden, dass der Druck nicht auf die ganze Gelenkfläche gleichmässig verteilt war, sodass nicht alle Spongiosabälkchen in Anspruch genommen wurden. Die Erfahrung zeigt aber, dass wenn ein Teil nachgibt, die darauf folgenden ebenfalls den Druck nicht mehr aushalten können. Kraemer hat diesem Uebelstand durch Unterlegen von Bleistücken abzuhelfen gesucht.

Meiner Ansicht nach wäre es am zweckmässigsten, den Carpus und das Fesselbein unter Beibehaltung der Gelenkkapseln und Bänder in die Maschine einzuklemmen und dazwischen die Metacarpen zu zerdrücken.

Weiter müsste man sich fragen, wie das Schienbein in die Prüfungsmaschine einzuspannen sei, um die Natur möglichst nachzuahmen.

Mit der Art der Befestigung ändert sich die Widerstandsfähigkeit und die Formel für ihre Berechnung. Da man eine Säule auf vierfache Weise befestigen kann, so gibt es im ganzen folgende vier Formeln:

1. Ein Ende fest, das andere frei; Bruchpunkt am befestigten Ende:

$$P = \left[\frac{\pi}{2l}\right]^2 \cdot W \cdot E$$

2. Ein Ende nicht festgehalten sondern gestützt mit abgerundeter Stützfläche oder um einen Bolzen drehbar, das andere Ende genötigt in der Richtung von P zu bleiben, jedoch so, dass an beiden Enden die elastische Linie ihre Neigung ändern kann; Bruchpunkt in der Mitte.

$$P = 4\left[\frac{\pi}{l}\right]^2 \cdot W \cdot E$$

3. An einem Ende nicht festgehalten, am anderen zwar verhindert, seitlich auszuweichen, kann aber eine beliebige Stellung annehmen. Wendepunkt ungefähr 2/5 vom festen Ende entfernt.

$$P = \left[\frac{\pi}{l}\right]^2 \cdot W \cdot E$$

4. Beide Enden eingeklemmt oder rechtwinklig zu begrenzt, 2 Bruchpunkte.

$$P = 4\left[\frac{\pi}{l}\right]^2 \cdot W \cdot E$$

Für den Metacarpus am Vorderbein sollte die dritte Formel zur Anwendung kommen. Er wird nämlich am proximalen Ende festgehalten, am distalen verhindert das Fesselgelenk eine seitliche Ausweichung, gestattet aber eine beliebige Neigung einzunehmen. Der Bruchpunkt würde also $^2/_5$ der Metacarpuslänge vom proximalen Ende entfernt sein. Die Natur schafft aber Säulen von gleicher Knickfestigkeit, und so habe ich auch wirklich an dieser gefährdeten Stelle die stärksten Knochenwände gefunden.

Es ist jedoch nicht richtig, aus der Widerstandsfähigkeit der Vorderröhren allein auf die Tragfähigkeit des Pferdes zu schliessen. Das vordere Schienbein kommt im Gegensatz zur Hinterröhre nicht allein zur Wirkung, sondern in Verbindung mit dem Vorarm. Dies wird durch die beobachtete Tatsache bewiesen, dass die Länge der Röhre zum Vorarm im umgekehrten Verhältnis steht, so dass sich beide zu einer Einheit ergänzen. Ausserdem

sind beide durch ein straffes Gelenk verbunden und wirken nur gestreckt, während das proximale Gelenk der Hinterröhre in eine Gelenkwalze ausläuft, und das Bein nur im gebeugten Zustande wirksam ist.

Die Länge der Vorderröhre wird durch den Vorarm wenigstens verdoppelt; mit der Zunahme der Röhre nimmt aber die Widerstandsfähigkeit im Quadrate der Länge ab, also dürfte die Tragfähigkeit höchstens dem vierten Teil des gefundenen Wertes gleichen. Ich erinnere an die Formel

$$\left[\frac{\pi}{2l}\right]^2 \cdot W \cdot E$$

Am einfachsten liesse sich die Knickfestigkeit der Röhre berechnen, wenn man aus der Knochenmasse Würfel schneiden würde, um durchs Zerdrücken derselben den Elastizitätsmodul E zu finden. Das Mass des Biegungsmomentes W berechnet man aus den Achsenverhältnissen eines Querschnittes.

Indes wie gesagt, kommt es auf die absolute Widerstandskraft der Röhre ohne Vorarm wenig an. Ein verhältnismässig langes Röhrbein, das am lebenden Tiere mit einem entsprechend kurzen Vorarm verbunden ist, würde sonach absolut kleinere Festigkeit zeigen als ein kurzes, während beide relativ, d. h. mit ihren Vorarm zusammen, gleich fest sein könnten.

Kraemer fand an der Vorderröhre grössere Widerstandsfähigkeit als Hoffmann an der Hinterröhre. Dies weist darauf hin, dass die Vorderröhre nur mit dem Vorderarm zusammen inbetracht kommen kann, da doch niemand daran zweifeln wird, dass die Hinterbeine, denen eine grössere Aufgabe zufällt, stärker sein sollten, als die Vorderbeine. Um die absolute Knochenmasse der einzelnen Metacarpen für das Auge vergleichbar zu machen, habe ich die Volumina in massive Knochencylinder umgerechnet und mit dem Radius derselben über dem zugehörigen Querschnitt einen Kreis beschrieben. Des weiteren Vergleiches halber habe ich für die Knochenmasse sämtlicher

Metacarpen gleiche Verhältnisse geschaffen, unter Beibehaltung der theoretischen Knickfestigkeit

$$P = 2\left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \cdot W \cdot E$$

Zunächst habe ich den Knochen die Form eines Hohlcylinders gegeben. Den Durchmesser r des Aussenkreises habe ich aus den Achsen des elliptischen Querschnittes gefunden nach der Gleichung:

$$r^2 = \frac{a\,b}{4}; \quad r = \sqrt{\frac{a\,b}{4}}$$

Zur Berechnung des Radius ρ des Innenkreises habe ich das Knochenvolumen V herangezogen. Da jedoch die Knochenmasse von verschiedenem spez. Gewicht ist, so habe ich dasselbe auf 2 reduziert und das ursprüngliche Volumen dementsprechend auf V_1 erhöht. Die Formel für den Inhalt lautet:

$$V_1 = \pi\,(r^2 - \rho^2)h$$

für h = Länge des betreffenden Metacarpus 1 gesetzt

$$\rho^2 = r^2 - \frac{V_1}{\pi l}$$

$$r^2 = \frac{a \cdot b}{4}$$

$$\rho = \sqrt{\frac{a \cdot b}{4} - \frac{V_1}{\pi l}}$$

Die Formel für die theoretische Knickfestigkeit eines Hohlcylinders stellt sich dar, wie folgt:

$$P = 2\left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \pi \frac{r^4 - \rho^4}{4} E = \frac{\pi^3 \cdot r^4 - \rho^4}{l^2 \quad 2} \cdot E$$

Die Hohlzylinder haben eine weitere Umrechnung in der Hinsicht erfahren, dass für die ursprüngliche Länge eine gemeinschaftliche 1 = 25 cm und für den entsprechenden inneren Radius ρ ein gemeinsamer $\rho_1 = 1$ cm gesetzt wurde. Für einen solchen Hohlzylinder beträgt die Knickfestigkeit:

$$P = \frac{\pi^3 (r_1^4 - \rho_1^4)}{l_1^2 \quad 2} E$$

r_1 ist bis jetzt unbekannt. Da aber beide Körper dieselbe Knickfestigkeit haben sollen, so müssen auch die Werte für dieselbe einander gleich sein, also:

$$\frac{\pi^3(r^4 - \rho^4)}{l^2} \frac{}{2} E = \frac{\pi^3(r_1^4 - \rho_1^4)}{l_1^2} \frac{}{2} E$$

Auf beiden Seiten fällt $E\frac{\pi^3}{2}$ fort

demnach $\frac{r^4 - \rho^4}{l^2} = \frac{r_1^4 - \rho_1^4}{l_1^2}$ oder die Unbekannte

$$r_1 = \sqrt[4]{l_1^2\left(\frac{r^4 - \rho^4}{l^2}\right) + \rho_1^4}$$

Subtrahieren wir ρ_1 von r_1, so stellt die Differenz die mittlere Wandstärke der Metacarpen dar, falls sie dieselbe Länge, denselben Radius des Hohlraumes und gleiches spezifisches Gewicht hätten. Zeichnerisch habe ich die Verhältnisse so dargestellt, dass ich über jedem Querschnitt einen punktierten Kreis mit dem gefundenen Werte für r_1 schlug.

Ich darf wohl die Hoffnung aussprechen, dass uns die Zukunft in nicht zu ferner Zeit Aufklärung in das für die Tierzucht wichtige Gebiet der Knochenstärke bringen wird, und es würde mir zur Freude gereichen, falls die vorliegende Arbeit Anregung und Winke für ähnliche Untersuchungen geben sollte.

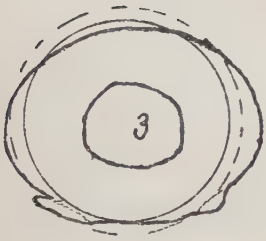
No.	Rassenbezeichnung	Alter. Jahre	Absolutes Gewicht in g	Volumen der Knochenmasse in ccm	Länge der Griffelbeine in cm			
					links		rechts	
					lateral	medial	lateral	medial
1	Schlesisches Landpferd	18	349.0	147.4	—	—	17.2	16.6
2	Oberschlesisches Pferd	16	350.5	144 1	—	—	17.6	—
3	Schlesisches Landpferd	15	350.5	144 6	17.2	16.7	17.5	17.1
4	" "	8	337.5	138.0	17.7	18.4	18.1	18.3
5	Belgier	10	517 5	211.6	18.3	18.6	18.1	18.4
6	Polnisches Pferd	14	334.5	123.1	16.8	=16 8	16.9	16.8
7	Schlesisches Landpferd	2	411.5	158.9	—	—	18.2	18.6
8	Polnisches Pferd	15	314 0	119.0	15.8	16.7	16.0	16.8
9	" "	9	341.0	133 1	16 0	16.5	16.5	16.8
10	" "	13	261.5	103.5	—	—	15.4	15.7
11	Ostpreusse	12	407 5	171.8	19 2	18 4	18.7	<18.4
12	Steiermärker (leicht)	14	531.0	260 9	17.6	16.4	17.4	>17.5
13	Ostpreusse	6	373.0	128.4	—	—	16.6	17.5
14	Oldenburger-Däne (Kreuzg.)	6	450.0	180 2	—	—	16.6	17.4
15	Polnisches Pferd	16	327.0	129.2	—	—	—	—
16	Militärzugpferd	11	533.0	234.1	18.5	18.0	18.1	18.5
17	Schlesisches Landpferd	10	299.0	124.6	—	—	—	—
18	Ostpreusse	14	474.0	190.8	17.9	19.4	18.0	19.5
19	Schlesisches Landpferd	16	313.5	135.1	17.2	16.8	17.7	17.6
20	" "	15	478.2	179.2	18 8	18.2	18.4	18.2
21	Belgier (ganz schwer)	11	719.5	287 0	19 9	19 2	19.5	19.3
22	Oberschlesisches Pferd	18	309.0	123.9	15.7	16 5	—	—
23	Schlesisches Landpferd	16	325.0	127.6	17.4	16.9	17.1	>17.1
24	Polnisches Pferd	4	388.0	151.1	17.9	18.1	18.0	<17.8
25	Schlesisches Landpferd	14	314.0	139.8	17.6	17.2	18.2	17 8
26	Russe	19	309.0	116.1	16 0	16 8	15 9	16.8
27	Militärpferd	17	389.0	158.1	18.2	18 0	17.9	>17.9
28	Litauer	10	465.0	176 0	17.0	17 8	17.4	17.6
29	Ostpreusse	17	384.7	165.9	18.3	18 1	18.3	18.1
30	Polnisches Pferd	15	267.0	107.9	16.2	15.5	—	—
31	Schlesisches Landpferd	8	348.0	138.4	18.5	18 8	18.0	18.5
32	Militärpferd	14	341.0	132 0	17.2	<17.2	16 8	17 2
33	Litauer	12	491.0	187.6	18 2	17.9	18.2	18 0
34	Polnisches Pferd	16	311.0	127.7	16.7	16.1	16.5	>16 5
35	Schlesisches Landpferd	14	436.0	174.9	17.8	<17.8	17.3	18.2
36	" "	10	351.0	147.5	16.2	16.4	16.3	16.5
37	Ostpreusse	16	407.0	178.5	17.1	17.5	17 2	17.6
38	Steiermärker	14	422.0	167.3	18.4	18.0	18.5	18.0
39	Schlesisches Landpferd	16	421 0	163.0	—	—	—	—
40	Ostpreusse	10	366.0	147.6	—	—	16.8	17.5
41	Steiermärker	15	408 0	167.0	18.7	18.7	—	—
42	Ostpreusse	8	412.0	168 6	17.9	18.8	17.1	18.7
43	Pony	16	221.0	84.8	12.9	14.4	12.9	14 3
44	Polnisches Pferd	18	320 0	119.2	16.0	16.3	—	—
45	Ostpreusse	15	387.0	162 0	17.0	16.5	17.0	17.1
46	Schlesisches Landpferd	14	347.0	144.9	17.8	17.8	17.8	18.2
47	Oestreicher	17	321.0	140 7	18.2	<18 2	18 0	=18.0
48	Steiermärker	11	505.0	193.6	17.7	>17.7	17.6	18.0
49	Militärpferd	13	373.0	149.4	—	—	16.2	17.2
50	Ostpreusse	9	391.2	169.6	18.8	18.2	19.0	18.1
51	Polnisches Pferd	14	245.1	90.2	15.7	15.2	15.5	15.2
52	Belgier	?	584.2	245.3	—	—	19.6	19.0
53	"	10	610.0	249.9	—	—	19.0	19.5
54		15	563.2	220.8	—	—	18.9	<18.8

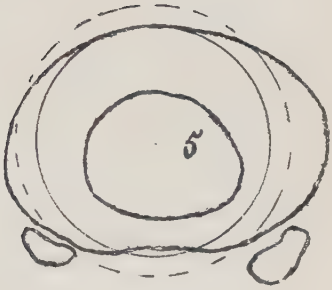
No.	Längenmasse der Röhre in cm				Breite d. Röhre		Masse d. kleinsten Umfanges in cm				
	Grösste Länge	Länge in der Mitte	Laterale Länge	Mediale Länge	proximal in cm	distal in cm	mit Griffelbeinen	ohne Griffelbeine	Seine Breite	Seine absolute Entfernung	Entfernung in % der Länge
1	23.54	23 31	22.11	21.68	5 63	5.32	9 39	9 32	3.35	12.11	51.44
2	23.98	23.76	22 63	22.44	5.22	5 31	9.78	9 55	3.46	12.74	53.13
3	24.31	24.23	23 11	22.86	5.50	5.32	9.49	9.46	3.29	12.15	50.00
4	24.62	24.42	23.41	22 94	5 98	5.43	11.19	10.78	4.05	13.19	53.57
5	25.89	25.81	24.14	23 94	6.91	6.68	12.56	11.72	4.24	13.58	52 45
6	23.91	23.82	22 82	22 49	5.50	5 26	10.19	9.99	3.56	12 81	53.58
7	25.94	25.61	24 52	23 98	5.82	5.82	10 61	10.21	3.64	13.51	52 08
8	23.36	23.32	21.98	22 00	5.32	5 06	9.61	9 56	3 30	12.09	51.76
9	24.52	24.31	22.96	22 81	5.71	5.41	10 42	10.09	3 56	12.26	50.00
10	21.85	21.75	21.00	20.81	4.79	4.76	9 47	9.12	3.24	11.11	50 85
11	25.41	25.30	23 85	23 61	6.39	6 00	11 46	11.18	4.09	13.62	53 60
12	24.68	24.68	23.21	23 02	6.28	6.00	12.09	11.42	4.11	12.76	51.70
13	24.59	24.46	23.29	23 16	5.28	5.44	10 09	9 88	3.54	12.29	50.00
14	25 58	25 38	23.41	23 64	6.21	5 91	12 34	11.61	4 21	13.20	51.60
15	23.12	23 07	21.82	21.42	5.41	5.41	9.74	9 39	3.21	13.00	56.23
16	26.41	26.19	24.92	24.52	6 23	6.00	12.77	11.52	4.18	13.20	51.60
17	24.64	24 60	23.12	23 38	5 71	5 72	10.68	10.22	3.52	11.60	47.08
18	26.42	26.38	24 86	24.79	6 31	5 81	11.31	11.08	4 07	13.21	50 00
19	25.00	25.00	23 74	23 66	5 41	5.31	10.75	10.51	3 68	13.28	53 12
20	25.25	25.11	24.00	24.21	5 60	5 61	11.49	11 19	3 95	13.68	54.18
21	26.49	26.35	24.90	24.34	7.41	7.36	16.13	14 06	5.12	11.98	45.23
22	23.56	23 50	22.36	22.11	5.39	5.19	9.48	9.18	3.28	11.58	49.16
23	23.87	23.78	22.46	22.68	5 11	5.11	9.78	9 56	3.38	11.21	46.98
24	24.52	23 38	23.13	23.10	5.30	5 32	10.91	10.11	3 54	11.96	48.78
25	25.49	25.42	24.33	24.30	5 78	5 61	10.46	10.18	3 70	13.64	53.51
26	23.48	23 41	22.24	22.00	5 21	5.11	9.81	9.46	3.37	11.74	50.00
27	25 61	25 51	24.80	24.08	5 91	5 52	10.50	10.37	3.68	12 80	50 00
28	25.12	25 00	23 78	23.54	6 12	5.81	11.68	10.98	3.86	11.68	46 50
29	25.05	25 00	23 78	23.54	5.71	5.63	11.16	10 98	3.92	13.50	53.89
30	22.14	22 12	21.19	21.12	4 97	4.91	9.37	8.82	3 13	11.07	50 00
31	26.00	25 79	24 61	24 42	6 09	5 86	10 60	9.98	3 56	11.80	45.39
32	25 81	25 62	24 66	24.23	5.71	5 54	10 82	10.66	3.82	15 10	58.50
33	26.10	25 70	24 22	24 18	6 43	6 29	11.69	11.34	4.07	12.98	49 73
34	23.86	23 58	22.48	22 38	5 51	5 21	10.20	9.46	3.32	11.93	50.00
35	25.72	25 63	24 18	23.74	6 21	6 03	11.12	11.02	3 98	14.00	54.43
36	23.76	23 61	22 61	22 42	5 48	5.12	10.42	9.92	3.67	12 61	53 07
37	24.80	24 50	23.50	23.46	5 93	5 61	11.03	10.78	3.81	13 26	53.47
38	25.34	24 18	23 91	23.91	5.90	5.61	11.35	11.07	3.99	13 21	52.13
39	25 51	25.20	24 00	23 80	6.21	6.09	11 26	11.41	4.09	12.78	50.10
40	25.26	25.10	24 06	24 10	6 51	5.96	10.88	10.48	3.75	12.63	50.00
41	26.11	26.00	24 50	24 50	5 81	5 96	10.24	9.80	3.51	13.05	50.00
42	25.71	25 60	24.41	24.19	6.21	5 53	10 73	10 18	3 57	12.85	50.00
43	20.93	20 62	19.72	19.76	4.82	4.53	9.44	8 69	3 04	10 82	51.70
44	23.20	23 12	22.00	21.92	5.46	5 21	10 39	9.82	3 42	11.60	50.00
45	25.56	25 31	24.91	24.82	5.71	5.41	9.95	9.68	3.36	13.00	50.86
46	25.91	25 82	24 41	24.36	6.09	5.88	11.22	10.76	3.67	13.55	52.30
47	25.31	25 00	24 07	23.53	5.99	5.56	10 47	10.10	3.63	12.65	50.00
48	26.00	26 00	24.59	24 38	6.31	5 86	12 18	11.58	4.18	13.00	50.00
49	24.24	24.04	23.06	22 87	5.53	5.08	10.19	9.88	3.48	12.12	50.00
50	26.29	26 21	24.83	24.61	6.79	6.56	12 13	11.47	4.10	13.14	50.00
51	21.14	21.00	20.32	20.09	4 94	4 78	9.22	8.58	3.09	10 57	50.00
52	26.41	26.14	24.79	24.50	6.86	6.61	12.72	12.27	4.28	13.20	50 00
53	26.20	25.80	24 80	24.60	6.87	6.38	14.37	13.55	4.78	13.10	50.00

Kleinste Breite der Röhre							Mitte der Röhre			Tiefe der Röhre	
			Ihre Entfernung		Ihr Umfang		Ihr Umfang				
beträgt in cm	Breitenindex	Reihenfolge nach ihm	in cm	in % der Länge	mit Griffelbeinen cm	ohne Griffelbeine cm	mit Griffelbeinen cm	ohne Griffelbeine cm	Ihre Breite in cm	beträgt in cm	Tiefenindex
3.31	14.06	11	11.07	47.03	9 43	9.36	9.47	9.34	3 33	2.56	10.87
3.39	14.13	13	10.08	42.04	10.19	—	9 86	—	3 44	2.50	10 42
3.29	13.53	3	12.15	50.00	9.49	9.46	9.49	9.46	3.29	2.65	10.90
4.02	16.33	50	11.04	44.95	11.59	10.78	11.28	10.78	4.01	2.66	10 80
4.20	16.22	48	11.44	44 19	12 88	—	12 66	11.74	4 24	3.00	11.59
3.49	14.59	29	10 39	43.46	10.49	9 88	10 21	10.02	3 53	2.60	10.87
3.59	13.84	8	12.09	46.71	10.85	10 12	10.71	10.19	3 61	2.70	10 41
3.26	13.96	10	9.50	40.67	10.21	—	9 64	9.56	3.29	2.54	10.87
3.51	14.31	18	10.42	42.50	10.72	10.00	10 42	10.09	3 56	2.75	11.21
3.22	14.74	30	11 52	52.72	9 50	—	9 51	9.04	3.23	2.37	10 87
4.08	15.98	47	12.70	50.00	11 52	11.29	11.52	11.29	4.06	2.95	11 61
4.10	16.61	52	11.31	45.83	12.21	—	12 11	11.39	4.11	2.90	11.75
3.53	14 35	23	11.04	44 90	10.09	9.92	10.09	9 88	3 54	2.60	10 57
4.16	16.26	49	12.05	47.11	12 35	11 66	12 34	11.70	4.19	2.86	11.18
3.16	13.67	4	10.91	47.19	9 89	9 31	9.81	9.35	3.17	2.75	11 89
4.14	15.68	43	12.40	46.95	11.87	11.49	11.77	11.52	4.16	3 00	11.36
3.51	14.25	17	12.32	50.00	10 70	10 18	10.70	10 18	3.51	2.72	11.04
4.07	15.41	36	12.01	45.46	11.38	11.28	11.31	11.08	4 08	2.97	11.24
3.62	14.48	27	11.10	44.40	11.28	10.29	10.82	10.32	3.66	2.73	10 92
3.93	15.56	41	12.62	50.00	11.71	11.42	11.71	11.42	3 93	3.01	11.92
5.09	19.22	54	10.54	39.79	16.46	13.88	16 38	14.18	5 21	3.38	12.76
3.27	13.88	9	10.42	44.23	9 72	9 28	9.58	9.22	3.29	2.38	10.10
3.38	14.16	14	10.73	44 97	9.83	9 60	9 77	9.54	3.37	2.56	10.73
3.51	14.31	19	10.75	44.84	11.02	10.02	10.91	10.12	3.56	2.80	11.42
3.67	14.40	25	11.02	43.23	11.02	10.28	10.42	10.31	3.73	2.70	10.59
3.37	14.35	22	11.74	50.00	9 81	9 46	9 8	9.46	3 37	2.60	11.09
3.67	14.33	20	12.10	50.00	10.58	10 31	10.50	10.37	3 68	2.71	10.58
3.86	15.37	35	11.68	46.50	11.68	10.98	11 76	10.87	3.87	2.92	11.62
3.87	15.45	37	12.12	48.38	11.26	10 94	11 18	10.92	3 87	2.88	11.50
3.12	14.09	12	10.07	45.48	9.45	8 82	9.37	8 82	3.13	2.37	10.71
3.56	13.69	5	11 80	45.39	10.60	9.98	10 74	10.01	3.57	2 74	10 54
3.67	14.22	16	9 60	37.19	11.46	—	11.02	—	3 68	2.67	10.35
4.04	15.48	39	12 61	48.31	11.69	11.59	11.69	11.34	4.07	2.99	11.46
3.28	13.75	6	10.83	45.39	10 49	9.68	10 20	9.68	3.32	2.48	10 39
3.90	15.16	33	12.47	48.48	11.19	11.07	11.19	11.02	3.91	2.85	11.08
3.61	15.19	34	10.56	44.44	10.72	9 92	10 48	9.94	3.65	2.58	10 86
3.72	15.00	32	11.90	47.98	11.81	10 71	11 07	10.76	3.75	2.80	11.29
3.97	15.67	42	12.67	50.00	11.38	11.12	11.38	11.12	3.97	2.88	11.37
4.05	15.88	46	11.74	46.02	11 86	11.48	11.70	11.40	4.15	2 90	11.37
3.75	14.85	31	12.63	50.00	10.88	10 48	10.88	10.48	3.75	2.70	10.69
3.46	13.25	2	10 70	40 98	10.62	—	10.24	9.86	3 51	2.71	10.38
3.55	13.81	7	12 10	47 06	10 92	10.20	10 73	10 18	3.57	2.60	10.11
3.02	14.43	26	9.42	45.01	9.67	—	9.45	—	3.03	2.21	10.56
3.38	15.47	38	10.60	45.69	10 39	9.82	10 39	9.82	3 42	2.57	11.08
3.34	13.07	1	11.87	46.44	10.27	—	9.98	—	3.34	2.71	10.60
3.67	14.17	15	13.35	52.30	11.22	10.76	11.28	10.81	3 67	3 05	11 77
3.63	14.34	21	12.65	50.00	10.47	—	10.47	10.10	3 63	2 58	10.19
4.08	15.69	44	10.20	39.23	12.78	—	12.18	11.58	4.18	2 96	11.38
3.48	14.36	24	12.12	50.01	10.19	9.88	10.19	9 88	3 48	2.75	11.34
4.08	15 52	40	12 15	46,14	12.21	11.47	12 .3	11.47	4.10	2.94	11.18
3.07	14.52	28	9.83	46.50	9.22	8.62	10 22	8 58	3 09	2 27	10 74
4.33	16.40	51	11.00	41.65	13.58	—	12.72	12.27	4 38	3.15	11.93
4.78	18.24	53	13 10	50.00	14.37	13.55	14.37	13.55	4.78	3.22	12 29
4.22	15.75	45	10.00	37.31	13.09	—	12.23	11.87	4.34	3.00	11.20

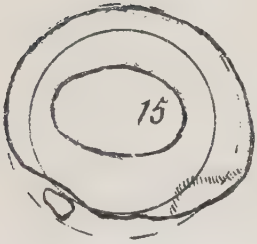
No.	Grosse Achse		Kleine Achse				Wandstärke					Reihenfolge nach dem Breitenindex
	aussen in cm	innen in cm	aussen in cm	innen in cm	Kleine Achse beträgt v. grosser Achse %	Reihenfolge der Verhältniszahlen	dorsal in cm	volar in cm	volare beträgt v. d. dorsalen %	medial in cm	lateral in cm	
1	3.35	1.41	2.59	1.22	77.32	13	0.76	0.61	80.3	1 14	0.80	11
2	3 46	1.31	2 54	1.17	73 41	31	0.71	0.66	93.0	1.16	0.99	13
3	3.42	1.22	2.65	1.11	81.80	4	0.71	0.83	116.9	1.04	0.98	3
4	4.00	1.99	2 68	1.52	67.00	53	0.61	0.55	90.2	1.15	0.86	50
5	4.20	1.94	3.00	1.60	71 44	47	0.91	0.49	53.8	1.23	1.03	48
6	3.52	2.05	2 63	1.55	74.73	22	0.64	0.44	68.7	0.82	0.65	29
7	3.59	1.94	2 74	1.50	76 33	16	0.69	0.55	79.7	0.86	0.79	8
8	3.26	1.80	2.54	1 32	77.92	12	0.68	0.54	79.4	0.63	0.83	10
9	3.57	1.84	2.79	1.27	78.16	8	0.86	0 66	76.8	0.91	0.82	18
10	3.23	1.59	2.37	1.26	73.39	32	0.56	0.55	98.2	0 86	0.78	30
11	4.08	2.16	2.97	1.62	72.80	38	0.61	0 74	121.3	1 04	0.88	47
12	4.10	2 30	2.90	1.69	70 74	50	0.75	0.46	61.4	0.86	0.94	52
13	3.51	1.68	2.60	1.26	74.08	25	0 80	0.54	67.5	0.98	0.85	23
14	4.18	2 41	2.88	1.67	68.90	51	0 72	0 49	68.1	0.91	0 86	49
15	3.22	1.78	2.75	1.27	85.42	1	0.63	0.85	135.0	0.82	0.62	4
16	4.17	1.79	3.00	1.48	71.95	44	0.81	0 71	87.7	1.36	1.02	43
17	3.50	2.03	2.73	1.50	78.00	11	0.83	0.40	48.2	0 75	0.72	17
18	4 06	1.85	2 97	1.47	73.16	36	0.72	0 78	108.3	1.19	1.02	36
19	3.68	2 09	2.73	1.61	74.20	24	0.70	0 42	60.0	0.82	0.77	27
20	3.90	2 05	3 01	1 52	77.18	14	0.76	0.73	96 1	0.94	0.91	41
21	5.13	3.16	3.40	2 30	66.28	54	0.74	0 36	48.7	1 00	0.97	54
22	3.28	1.57	2.38	1.55	72.56	40	0.77	0 38	49.4	0.88	0.83	9
23	3.38	1.66	2.56	1.23	75.74	19	0.76	0.57	75.0	0 80	0.92	14
24	3.54	1.82	2 82	1 38	79.68	7	0.77	0 67	87.0	0.89	0 83	19
25	3.70	1.94	2.76	1.55	72.96	37	0.60	0 55	91.7	1.06	0.73	25
26	3.33	1.90	2.60	1 50	78 08	9	0.65	0.45	69.2	0.70	0.73	22
27	3.68	1.96	2.71	1.50	73 64	30	0.69	0 52	75 4	0.79	0.93	20
28	3.83	1.79	2.92	1.42	76.24	17	0.92	0.58	63 1	1.04	1.00	35
29	3.92	1.97	2 90	1.51	73.97	27	0.70	0.69	98.6	1.00	0.95	37
30	3.09	1.44	2.38	1.08	77.02	15	0 76	0 54	71.1	0.83	0.82	12
31	3.51	1.75	2.74	1.33	78.06	10	0.89	0.52	58.4	0.85	0 91	5
32	3.81	1.71	2.75	1.50	72.18	41	0.62	0.63	101.7	1.16	0.94	16
33	4.02	2.24	2.99	1.75	74 38	23	0.74	0 50	67.6	0.85	0 93	39
34	3 30	1.80	2 48	1.33	75.15	21	0.72	0 43	59.7	0.78	0.72	6
35	3.96	1.89	2 85	1.50	71 96	43	0.57	0 78	136 9	1.20	0.87	33
36	3.63	1 76	2.58	1.33	71.06	49	0 66	0 59	89 4	1 03	0.84	34
37	3.85	1.83	2.84	1.50	75 76	28	0.70	0.64	91.4	1.04	0.98	32
38	3.93	2.12	2 88	1 79	73.27	34	0.61	0.48	78.7	0.93	0.83	42
39	4.08	2 29	2 92	1.69	71.56	46	0.67	0 56	83.6	1.19	0.60	46
40	3.71	1.90	2 79	1.43	75.18	20	0 80	0.56	70.0	0.94	0.87	31
41	3.43	1 67	2.74	1.40	79.88	6	0 73	0.61	83 6	0 91	0.85	2
42	3.54	1.99	2.60	1.49	73.44	33	0.67	0 44	65 7	0 74	0.81	7
43	3 00	1.65	2 21	1.29	73 66	29	0.64	0.28	43.7	0.66	0.69	26
44	3.38	1.91	2.57	1.33	76 04	18	0.72	0 52	72 2	0 71	0.76	38
45	3.31	1.54	2 72	1.26	82.16	3	0.88	0 58	65 9	0.82	0.95	1
46	3 66	2.01	3 05	1.55	83.33	2	0.63	0 87	138 1	0.86	0.79	15
47	3.58	1 85	2.58	1 42	72.06	42	0.61	0.55	90.2	0.89	0.84	21
48	4.14	2.13	3 03	1.73	73.18	35	0.74	0 56	75 7	1.13	0.88	44
49	3 43	1 58	2 75	1.27	80.17	5	0.84	0.64	76 2	0.99	0.86	24
50	4.11	2.41	2 95	1 85	71.77	45	0.71	0 39	54.9	0.98	0.72	40
51	3 09	1.56	2.29	1.20	74 11	26	0.55	0 54	98.2	0.80	0.73	28
52	4.37	2.27	3 18	1.78	72.86	39	0.75	0.65	86 7	0.99	1.11	51
53	4.76	2 90	3.22	1.86	67 64	52	0 76	0 60	78 9	1.04	0.82	53
54	4.28	2.20	3.05	1.80	71.25	48	0.71	0 54	76.0	1.12	0.96	45

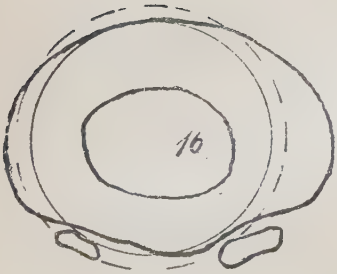
Inhalt des ganzen Querschnittes qmm	Radius dieser Fläche in mm r	Inhalt d. Markraumes qmm	Radius d. Markraumes mm ρ	Inhalt d. Knochenfläche qmm	Mittlere Wandstärke mm r — ρ	Spezifisches Gewicht	Berechneter Radius r_1 in mm	Berechnete Wandstärke $r_1 - \rho_1$ in mm
636	14.2	136	6.6	500	7.6	2.062	15.2	5.2
660	14.5	132	6.5	528	8.0	2.085	15.4	5.4
644	14.3	112	6 0	532	8.3	2 055	15.2	5.2
824	16.2	232	8 6	592	7.6	2 068	16.6	6.6
1020	18.0	260	9.1	760	8.9	2.021	17.9	7.9
704	15.0	256	9.0	448	6.0	2.082	15 5	5.5
760	15.6	212	8 2	548	7.4	2.010	15 7	5.7
656	14.5	196	7.9	460	6 6	2.099	15 4	5.4
756	15.5	192	7.8	564	7.7	2.089	16.0	6 0
584	13.6	164	7.2	420	6 4	2.074	15 0	5.0
900	16.9	280	9.4	620	7.5	2 091	16 9	6 9
940	17 3	332	10.3	608	7.0	2.032	17.3	7.3
728	15.2	168	7.3	560	7.9	2.055	15.8	5 8
968	17 6	332	10.3	636	7.3	2 061	17.4	7.4
648	14 4	176	7.5	472	6.9	2.065	15.4	5.4
968	17 6	216	8.3	752	9.3	2.036	17.4	7.4
772	15.7	260	9 1	512	6.6	2.098	16 0	6.0
860	16.6	220	8 4	640	8.2	2.027	16.5	6.5
776	15.7	272	9.3	504	6.4	2.119	15.9	5 9
900	16.9	248	8.9	652	8.0	2.055	17.0	7.0
1608	22.6	808	16.0	800	6.6	2.046	20.7	10 7
620	14.1	156	7 0	464	7.1	2.072	15.1	5.1
648	14.4	164	7.2	484	7.2	2.070	15.3	5.3
752	15.5	200	8.0	552	7.5	2.075	16.0	6.0
764	15.6	248	8.9	516	7.7	2.091	15.7	5 7
664	14.5	208	8.1	456	6.4	2.084	15 3	5 3
792	15 8	244	8.8	548	7.0	2.057	15 9	5.9
868	16 6	200	8.0	668	8.6	2.086	16 9	6.9
860	16.6	236	8 7	624	7.9	2.094	16.8	6.8
568	13.5	116	6.1	452	7.4	2.090	15.0	5 0
744	15.4	188	7 7	556	7.7	2.074	15.6	5 6
800	16.0	220	8 4	580	7.6	2.081	16.1	6.1
932	17.2	324	10.2	608	7.0	2.072	16.8	6.8
660	14.5	204	8.1	456	6.4	2.083	15.2	5.2
852	16.5	220	8.4	632	8.1	2.037	16.6	6 6
704	15.0	184	7.6	520	7.4	2.051	15.8	5.8
840	16.3	220	8.4	620	7.9	2.027	16.6	6.6
892	16.9	300	9 8	592	7.1	2.088	16.8	6.8
932	16.9	296	9.7	636	7.5	2.074	17.1	7.1
800	16.0	232	8.6	568	7.4	2.073	16.2	6.2
704	15.0	180	7.6	524	7.4	2.046	15.2	5.2
748	15.4	244	8.8	504	6.6	2.057	15.5	5.5
536	13.1	164	7.2	372	5.9	2.077	14.8	4.8
680	14.7	208	8.1	472	6.6	2.074	15.6	5.6
680	14.7	156	7.0	524	7.7	2.046	15.1	5.1
816	16.1	268	9.2	548	6 9	2.094	16.0	6.0
728	15.2	212	8.2	516	7.0	2.103	15 5	5.5
968	17.6	304	9.8	665	7 8	2.063	17 3	7 3
708	15.1	148	6.9	560	8.2	2.083	15 8	5.8
932	17.2	356	10.6	576	6.6	2.107	16 7	6.7
532	13.0	156	7.0	376	6 0	2.093	14.7	4.7
1096	18 7	328	10.2	768	8.5	2 053	18.2	8.2
1220	19 7	440	11.8	780	7.9	2.049	19.0	9 0
1012	18.0	352	10.6	660	7.4	2.083	17.3	7.3

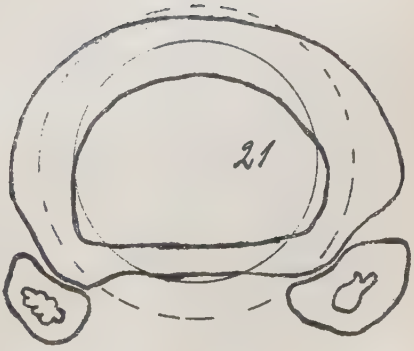

3

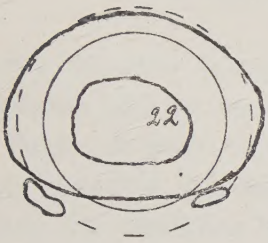

5

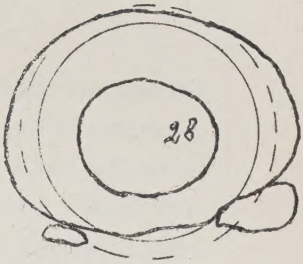
8

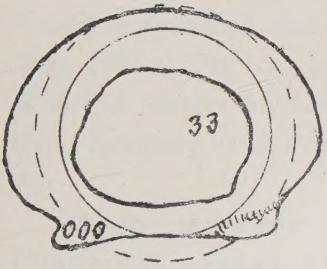

15

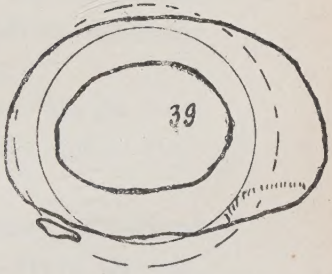

16

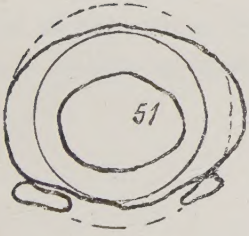

21

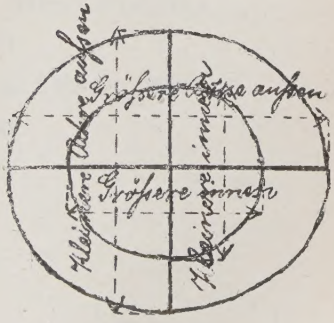

22


28


33


39


51


Kleinere Achse aussen
Größere Achse aussen
Größere innen
Kleinere innen

Lebenslauf.

Ich, Kasimir Joseph Nowakowski, katholischer Religion, bin geboren am 10. Januar 1881 zu Chomencice, Kreis Posen, als Sohn Petrus' Nowakowski und seiner Ehefrau Josepha, geborenen Glinkiewicz. Nach Vorbereitung im elterlichen Hause besuchte ich von Ostern 1893 das Königl. Marien-Gymnasium zu Posen, welches ich Ostern 1903 mit dem Zeugnis der Reife verliess. Michaelis 1903 bezog ich die Königl. Universität Breslau, um Naturwissenschaften und Landwirtschaft zu studieren; Michaelis 1907 wurde ich reimmatrikuliert.

Während meiner Studienzeit besuchte ich die Vorlesungen, Seminare und Praktika folgender Herren Professoren:

Abegg, Aereboe, Baumgartner, Caspar, Ebbinghaus, Frech, Freudenthal, Herz, Hintze, Holdefleiss, Kükenthal, Ladenburg, Luedecke, Lummer, O. E. Meyer, Milch, Pax, Pfeiffer, von Rümker, Waterstradt, Wolf.

Allen diesen meinen verehrten Herren Lehrern drücke ich hiermit meinen herzlichsten Dank aus.

Thesen.

1. Der stärkere Röhrbeinumfang am Vorderfuss des Pferdes bürgt nicht für grössere Widerstandsfähigkeit des Metacarpus.
2. Calciumcyanamid (Stickstoffkalk oder Kalkstickstoff) kann nach den bisherigen Erfahrungen den Chilisalpeter bei der Pflanzenernährung nicht völlig ersetzen.
3. Die Darstellungen auf den mykenischen Goldbechern legen nicht den historischen Zeitpunkt für die Domestikation des Hausrindes fest.